Computertomographische, plethysmographische und anthropometrische Messungen bei Gipsimmobilisation

Untersuchungen am Unterschenkel des Menschen

Brigitte Hoffmann

Diss
München
1984

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534901_0012

Aus der
Klinik für Physikalische Medizin
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

Computertomographische, plethysmographische und anthropometrische Messungen bei Gipsimmobilisation
- Untersuchungen am Unterschenkel des Menschen -

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Brigitte Hoffmann
aus
München
Jahr
1984

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät

der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. Schnizer

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. H. Drexel

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 6. 12. 1984

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

2. Methodik
2.1. Versuchspersonen
2.1.1. Alter und Geschlecht
2.1.2. Indikation für die Gipsbehandlung
2.1.3. Art und Dauer der Gipsbehandlung
2.2. Computertomographie (CT)
2.2.1. Zeitpunkt, Schnitthöhe und Anzahl der Aufnahmen
2.2.2. Planimetrische Auswertung der CT-Bilder
2.2.3. Berechnung von Einzelflächen und Hautfaltendicke
2.2.4. Berechnung von Mittelwerten
2.3. Umfang- und Hautfaltendickemessungen
2.3.1. Umfang
2.3.2. Hautfaltendicke
2.4. Plethysmographie
2.4.1. Gerätbeschreibung
2.4.2. Art, Ablauf und Anzahl der Untersuchungen
2.4.3. Auswertung
2.5. Hauttemperaturmessungen
2.6. Nachuntersuchung
2.6.1. Teilnehmer
2.6.2. Fragebogen
2.6.3. Plethysmographie und Hauttemperaturmessungen
2.6.4. Umfang- und Hautfaltendickemessungen
2.7. Statistische Auswertung
2.7.1. Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen
2.7.2. Berechnung der Signifikanz

3. Ergebnisse
3.1. der CT-Auswertung
3.1.1. Prozentuale Zu-/Abnahme der Einzelflächen und der Hautfaltendicke in den verschiedenen Perioden der Immobilisation
3.1.1.1. Tabellen
3.1.1.2. Graphische Darstellung

3.1.2. Durchschnittswerte der prozentualen Flächenänderungen des Patientenkollektivs
3.1.2.1. Tabelle
3.1.2.2. Graphische Darstellung
3.1.3. Statistische Auswertung
3.1.4. Zusammenfassung der CT-Ergebnisse
3.2. der Umfang- und Hautfaltendickemessungen
3.2.1. Umfang
3.2.1.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
3.2.1.2. Statistische Auswertung
3.2.2. Hautfaltendicke
3.2.2.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
3.2.2.2. Statistische Auswertung
3.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse
3.3. der plethysmographischen Untersuchungen
3.3.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
3.3.1.1. Tabelle
3.3.1.2. Graphische Darstellung
3.3.2. Statistische Auswertung
3.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse
3.4. der Hauttemperaturmessungen
3.4.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
3.4.2. Statistische Auswertung
3.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse
3.5. der Nachuntersuchung
3.5.1. Fragebogen
3.5.2. Plethysmographie
3.5.2.1. Mittelwerte und Standardabweichungen
3.5.2.2. Statistische Auswertung
3.5.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse
3.5.3. Hauttemperaturmessungen
3.5.4. Umfang- und Hautfaltendickemessungen
3.5.4.1. Umfang
3.5.4.2. Hautfaltendicke
3.5.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

4. Diskussion
4.1. Computertomographie
4.2. Umfangmessungen
4.3. Hautfaltendickemessungen
4.4. Plethysmographie
4.5. Hauttemperaturmessungen

5. Zusammenfassung

6. Anhang
Einzeldaten
6.1. Computertomographie
6.2. Umfangmessungen
6.3. Hautfaltendickemessungen
6.4. Plethysmographie
6.5. Hauttemperaturmessungen
6.6. Nachuntersuchung
6.6.1. Plethysmographie
6.6.2. Hauttemperaturmessungen
6.6.3. Umfangmessungen
6.6.4. Hautfaltendickemessungen

7. Literaturübersicht

1. Einleitung

Gipsverbände in ihren verschiedenen Ausführungen, zur Ruhigstellung von Armen und Beinen, gehören zum Routineprogramm orthopädischer und chirurgischer Kliniken. Für den einzelnen Patienten ist die Gipsbehandlung auf Grund der Immobilisationsfolgen ein nicht zu unterschätzendes Problem, desgleichen für die Volkswirtschaft, der daraus enorme finanzielle Verluste entstehen.

Um die negativen Effekte der Ruhigstellung therapeutisch wirksam verhindern zu können, sind exakte Kenntnisse der Hypokinese erforderlich. Bisher beschränkte man sich bei der Beurteilung der Immobilisationsfolgen meist auf Umfangmessungen mit dem Zentimetermaß. Die vorliegende Arbeit untersucht eine Reihe anderer Methoden, mit denen die Auswirkungen der Inaktivität objektiviert werden können. Mit dieser methodischen Studie sollen die Voraussetzungen geschaffen werden, für den gezielten therapeutischen Einsatz physikalischer Maßnahmen, wie beispielsweise der Elektrotherapie.

Aus Tierversuchen weiß man, daß ein Zusammenhang zwischen der Faserzusammensetzung eines Muskels, seinem Atrophiemuster und der Wirkung elektrotherapeutischer Anwendungen besteht. Das Verhältnis von Typ I zu Typ II Fasern menschlicher Muskeln ist bekannt. Wenn sich nun mit bestimmten Methoden Atrophierate und -verlauf einzelner Muskeln bzw. Muskelgruppen differenzieren lassen, so ermöglicht dies, in Kenntnis des Fasergehaltes und der tierexperimentellen Untersuchungen, den wissenschaftlich fundierten Einsatz der Elektrotherapie beim Menschen.

Die Daten dieser Untersuchung wurden am Unterschenkel des Menschen erhoben. Es wurden die Folgen der Ruhigstellung im Gips an verschiedenen Geweben beobachtet.

2. Methodik

2.1. Versuchspersonen

2.1.1. Alter und Geschlecht

An der Studie nahmen 10 Personen teil, von denen sechs weiblichen und vier männlichen Geschlechts sind. Die Frauen waren im Alter von 16, 18, 21, 39, 47 und 55 Jahren. Die Männer waren 13, 17, 20 und 29 Jahre alt.

2.1.2. Indikation für die Gipsbehandlung

Von den Patienten, die sich alle freiwillig zur Teilnahme an der Untersuchung bereiterklärten, kamen drei aus der chirurgischen Poliklinik A, vier aus der orthopädischen Klinik (beide im Klinikum Großhadern) und drei von einem niedergelassenen Orthopäden. Bei zwei Patientinnen lag ein chronisches Leiden vor. Die eine wurde wegen einer habituellen Distorsion im rechten Sprunggelenk, infolge alter fibulo-talarer und -calcanearer Bandruptur, mit einer Bandnaht versorgt, die andere wegen eines Hallux valgus links nach Brandes operiert. Von den Übrigen holten sich drei ihre frische Verletzung beim Sport, die Restlichen im täglichen Leben. Bei ihnen wurden folgende Diagnosen gestellt, in Klammern die chirurgische Versorgung: dreimal Sprunggelenksdistorsion links mit Außenbanddehnung, dreimal fibulotalare Bandruptur rechts (Bandnaht), eine Außenknöchelfraktur links und eine knöcherne Absprengung vom linken Os cuboideum.

2.1.3. Art und Dauer der Gipsbehandlung

Sämtliche Patienten wurden mit Unterschenkelgipsen versorgt. Abhängig von Verletzungsart und Operation variierte die Behandlungsdauer zwischen 11 Tagen und 6 Wochen. Bei einigen Patienten ging dem Gehgips ein Liegegips oder eine Schienenruhigstellung voraus. Im ein-

zelnen hatten die Patienten folgende Gipsverbände (nach zunehmender Dauer der Ruhigstellung geordnet):

USGG = Unterschenkelgehgips

USLG = Unterschenkelliegegips

11 Tage USGG

2 Wochen USLG

1 Woche Kramerschiene + 2 Wochen USGG

3 Wochen USGG

1 Woche Gipsschiene + 3 Wochen USGG

5 Wochen USGG

1 Woche USLG + 5 Wochen USGG

2 Wochen USLG + 4 Wochen USGG

2 Wochen USLG + 4 Wochen USGG

1 Woche USLG + 3 Tage Kramerschiene + 2 Wochen USLG + 4 Wochen USGG

2.2. Computertomographie (CT)

Unter den Gliederungspunkten 2.2. bis 2.5. werden die verschiedenen Methoden beschrieben, die wir angewandt haben, um die Folgen der Immobilisation zu objektivieren. Die Computertomographie war ein Schwerpunkt unserer Untersuchung. Die Aufnahmen wurden im Röntgen B, im Klinikum Großhadern, mit einem Somatom 2 der Fa Siemens gemacht.

2.2.1. Zeitpunkt, Schnitthöhe und Anzahl der Aufnahmen

Es war geplant, von jedem Patienten drei Aufnahmenserien anzufertigen. Die ersten CT-Bilder sollten am Tag nach der Eingipsung, die zweiten eine Woche später und die dritten kurz vor der Gipsentfernung gemacht werden. In der Praxis waren wir häufig zu Abweichungen von diesem Konzept gezwungen. Hauptgrund war, neben Feiertagen und ungünstigen OP-Terminen (freitags), das Somatom, das beispielsweise in der ersten Juniwoche '81 an drei Tagen wegen technischer Defekte bzw. Wartung ausfiel. Bei zwei der zehn Patienten lief überhaupt keine Computertomographie, da sie zu spät zu unserer Untersuchung stießen, um die ersten Bilder als Ausgangswert gelten lassen zu können. Bei zwei weiteren Patienten wurden nur zwei statt drei CT-Serien verfertigt. Bei dem 13jährigen Jungen veranlaßte uns sein Alter zu dieser Entscheidung, bei der anderen Patientin lag es an der Kürze der Gipsbehandlung (14 Tage).

Die computertomographische Untersuchung erfolgte an beiden Beinen gleichzeitig. Dabei lagen die Patienten auf dem Rücken, und sämtliche Gelenke der unteren Extremitäten befanden sich in Neutral-Null-Stellung. Bei jeder Aufnahmenserie (siehe Abb. 1) wurden drei verschiedene Schnittebenen abgebildet, also drei Querschnittsbilder beider Unterschenkel angefertigt. Die Schnitte wurden im Bereich der Wadenmuskulatur gesetzt. Vor der ersten Untersuchung wurde die Höhe der Schnitte

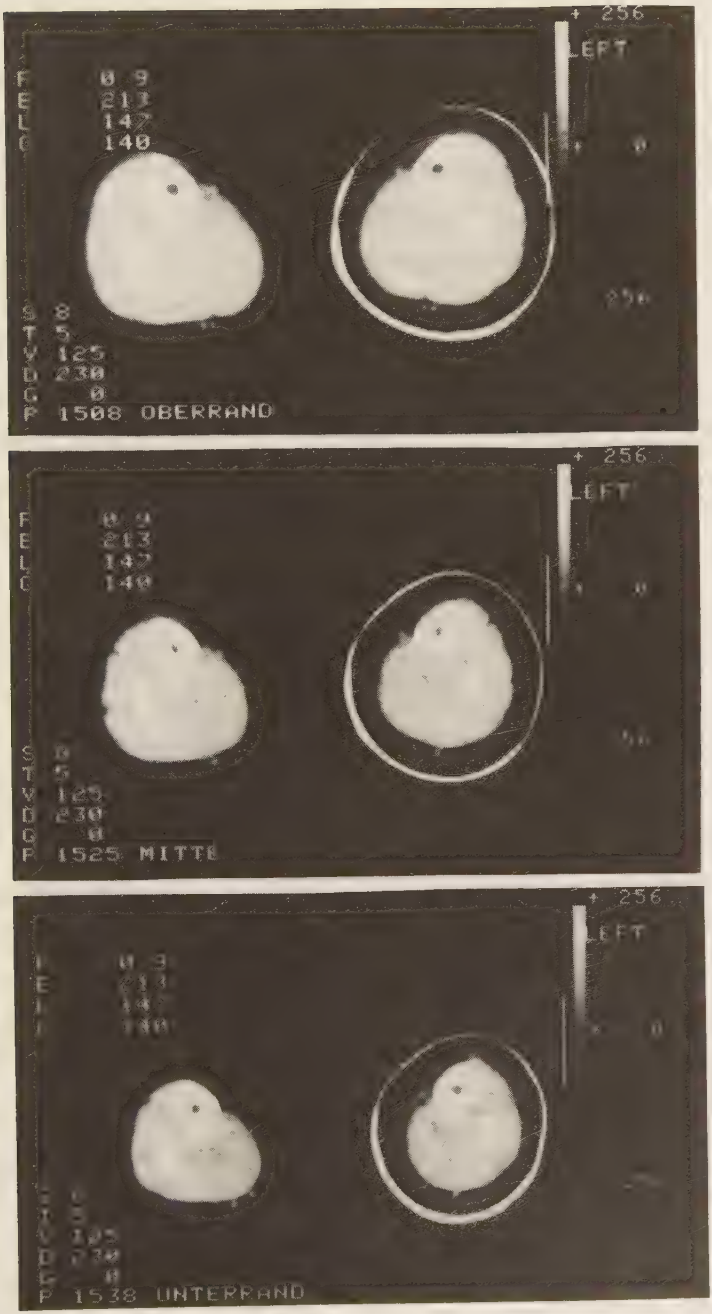


Abb. 1: Aufnahmenserie mit 3 Schnittebenen

bei jedem Patienten individuell nach der Länge seiner Unterschenkel festgelegt. Diese Schnitthöhen wurden bei den Aufnahmen der zweiten und dritten Serie beibehalten. Da die Schnittebenen auch nach einem Gipswechsel reproduzierbar sein mußten, benötigten wir einen fixen Körperpunkt zu ihrer Ermittlung. Wir wählten den Oberrand der Patella. Dort legten wir das Maßband an und führten es an der Schienbeinkante entlang zum Unterschenkel, wo wir von proximal nach distal drei Ebenen als Oberrand, Mitte und Unterrand festsetzten. Die Entfernung der Schnittebenen vom Oberrand der Kniescheibe variierte bei den einzelnen Patienten für den Oberrand zwischen 13 und 25 cm, die Mitte zwischen 16 und 29,5 cm und für den Unterand zwischen 19 und 33,5 cm.

2.2.2. Planimetrische Auswertung der CT-Bilder

Sämtliche CT-Aufnahmen wurden so verkleinert, daß sie uns in Diaformat vorlagen. Auf diese Weise konnten wir die Bilder in einen Projektor, der normalerweise zur Herstellung von Abzügen im Fotolabor verwendet wird, einspannen und auf eine Meßplatte projizieren.

Für die Auswertung war es wichtig, daß alle Projektionen den gleichen Maßstab hatten. Auf jeder computertomographischen Aufnahme findet sich am rechten Bildrand eine weiße Strecke. Ihre Länge entspricht in Wirklichkeit 5 cm. Mit Hilfe einer Feinschraube stellten wir den Projektor so ein, daß der 5 cm-Maßstab der CT-Aufnahme in 2,5 cm Länge auf die Meßplatte projiziert wurde. Die Abbildung war also halb so groß, wie der Querschnitt des Beines in Natur.

Die planimetrische Auswertung erfolgte mit einem Videoplan der Fa Kontron Meßgeräte GmbH. Die Bestandteile des Geräts sind, neben dem oben bereits erwähnten Meßtablett, eine Recheneinheit, ein Monitor und ein Drucker. Das Meßverfahren beruht auf dem Magnetostriktionsprinzip. Mit einem speziellen, zum Gerät gehörenden Auswertestift wurden auf

dem magnetisierten Meßtablett bestimmte Flächen der projizierten Querschnittsbilder umfahren. Der Rechner war so programmiert, daß er den Verkleinerungsfaktor eliminierte und die Realgröße der Flächen berechnete. Der Monitor zeigte die Ergebnisse an; der Drucker ersparte uns ein zeitraubendes Abschreiben vom Bildschirm.

Es wurden immer beide Unterschenkel planimetrisch ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden auf jedem Querschnittsbild folgende Flächen umfahren (siehe Abb. 2):

1. Gesamtfläche des Unterschenkels
2. Fläche, die durch Umfahren des äußeren Muskelumfangs definiert ist
3. Fläche der Tibia
4. Fläche der Fibula
5. Fläche der Extensoren (M. tibialis anterior, M. extensor digitorum longus)
6. Fläche der Peroneus-Gruppe (M. peroneus longus, M. peroneus brevis)
7. Fläche der Flexoren (M. flexor digitorum longus, M. tibialis posterior, M. triceps surae)

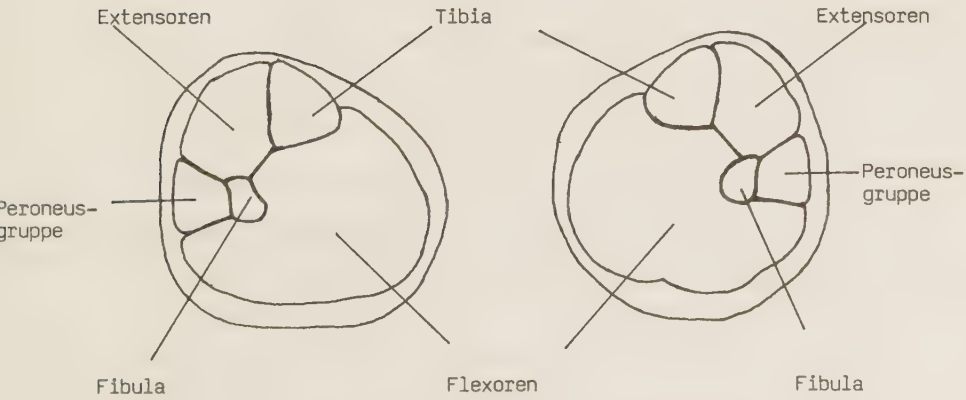


Abb. 2: Planimetrische Auswertung einer CT-Schnittebene
Maßstab 1:2

Um die Genauigkeit der planimetrischen Auswertung beurteilen zu können, wählten wir aus Querschnittsbildern des Ober- und Unterschenkels fünf Flächen unterschiedlicher Größe aus, die je zwanzigmal auf dem Meßtablett umfahren wurden. Die Flächen im einzelnen (nach zunehmender Größe geordnet):

(1) Fläche der Fibula

(2) Fläche der Tibia

(3) Fläche des Femur

(4) Gesamtfläche des Unterschenkels

(5) Gesamtfläche des Oberschenkels

Der Computer des Videoplans berechnete aus den zwanzig Werten jeweils den Mittelwert ($\bar{x}$) und die Standardabweichung (S_{x_i}), die wir zusätzlich in Prozent des Mittelwertes ausdrücken. Die Ergebnisse gibt nachstehende Tabelle wieder.

Fläche	$\bar{x}$ (in cm²)	S_{x_i} (in cm²)	S_{x_i} (in %)
(1)	1,28	0,09	7,03
(2)	3.85	0.08	2,08
(3)	7,27	0.10	1,38
(4)	62,37	0,81	1,30
(5)	195,86	2,76	1,41

Um die Ergebnisse zu veranschaulichen, werden die Mittelwerte und die Standardabweichungen (in %) in einer halblogarhythmischen Darstellung (siehe Abb. 3) gegeneinander aufgetragen.

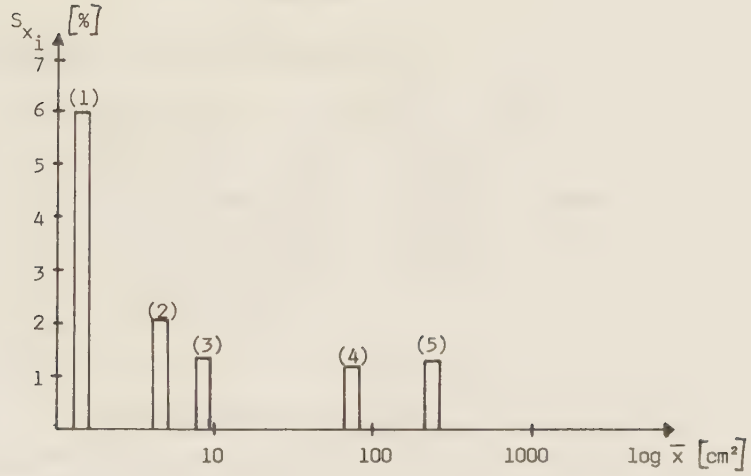


Abb. 3

Man sieht, daß der Fehler der planimetrischen Auswertung mit steigender Flächengröße zunimmt, daß er jedoch bei größeren Flächen prozentual weniger ins Gewicht fällt als bei den kleinen.

2.2.3. Berechnung von Einzelflächen und Hautfaltendicke

Die am Planimeter ermittelten Flächengrößen bezeichnen wir, gemeinsam mit fünf daraus berechneten Werten, als "Rohdaten", da sie die Grundlage der rechnerischen Auswertung bilden. Wir fertigten zunächst eine tabellarische Übersicht dieser Rohdaten an. Für jeden Patienten listeten wir, nach Schnittebenen geordnet, die Größe (in cm²) der verschiedenen Flächen bei den drei Aufnahmenserien auf. Dabei stellten wir krankes und gesundes Bein einander gegenüber. Im einzelnen berechneten wir, auf zwei Kommastellen genau, die nachstehenden Flächen (die angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Numerierung der Flächen unter 2.2.2.).

1. - 7. Hier übernahmen wir die unter 2.2.2. aufgeführten Flächen direkt vom Drucker.

8. Flexoren + Peroneusgruppe: Die Flächen von Flexoren und Peroneusgruppe faßten wir, wegen ihrer gleichsinnigen Wirkung auf den Fuß (Plantarflexion), durch Addition von 6+7 zu einem Wert zusammen.
9. Gesamtmuskelfläche durch Addition der Einzelmuskelflächen (5+6+7)
10. Gesamtmuskelfläche durch Subtraktion der Knochenflächen von der durch den äußeren Muskelumfang definierten Fläche (2-3-4)
11. Unterhautfettgewebe: Unter diesem Begriff faßten wir die aus Epidermis, Kutis und Subkutis bestehende Fläche zusammen, die zwischen Haut und äußerem Muskelumfang liegt (1-2).
12. Hautfaltendicke (in cm): Wir berechneten die Hautfaltendicke, um die computertomographisch ermittelte Größe des Unterhautfettgewebes mit den Ergebnissen der Hautfaltendickemessungen (siehe 2.3.2.) vergleichen zu können. Bei der Berechnung gingen wir von der Annahme eines kreisrunden Querschnittes aus. Die Skizze (siehe Abb. 4) soll das verdeutlichen:

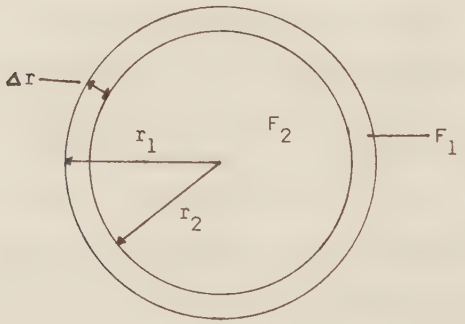


Abb. 4

Der äußere Kreis entspricht der Gesamtfläche (F_1). Der innere Kreis stellt schematisch die Gesamtmuskelfläche (F_2) dar. Geht man nun von der Formel für die Kreisfläche aus, so kann man für beide Flächen den Radius (r_1 und r_2) berechnen. Die Differenz der beiden Radien ($r_1 - r_2$)

ergibt die gesuchte Hautfaltendicke (Δr).

Der Rechengang in Formeln:

$$F_1 = r_1^2 \pi \quad \rightarrow \quad r_1^2 = \frac{F_1}{\pi} \quad \rightarrow \quad r_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}}$$

$$F_2 = r_2^2 \pi \quad \rightarrow \quad r_2^2 = \frac{F_2}{\pi} \quad \rightarrow \quad r_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

$$\Delta r = r_1 - r_2 = \sqrt{\frac{F_1}{\pi}} - \sqrt{\frac{F_2}{\pi}}$$

Um die Auswirkungen der Immobilisation beurteilen zu können, ermittelten wir, an Hand der unter 1.-12. aufgeführten Rohdaten, die Änderung der Flächenmaße im Laufe der Gipsbehandlung. Wir berechneten für jede einzelne Fläche von Oberrand, Mitte und Unterrand die Zu- bzw. Abnahme von der 1. zur 2. Aufnahme (= 1. Periode), von der 2. zur 3. Aufnahme (= 2. Periode) und von der 1. zur 3. Aufnahme (= Gesamtperiode). Neben den Absolutwerten in cm² (ein "+" bedeutet Zunahme, ein "-" Abnahme) drückten wir die Flächenänderungen auch prozentual aus. Die Prozentberechnung bezieht sich in der 1. Periode und der Gesamtperiode auf die Größe der entsprechenden Fläche bei der ersten Aufnahme, in der 2. Periode auf den Flächenwert der zweiten Aufnahme. Die berechneten Flächenänderungen, die wir kurz "Differenzen" nennen, faßten wir wieder in Tabellen zusammen.

Zur besseren Nachvollziehbarkeit der Rechengänge sind nachfolgend von einem Patienten sämtliche Rohdaten und Differenzen abgedruckt. Die Daten der übrigen Patienten finden sich im Anhang.

Tabelle der Rohdaten

Einheit der Flächen (1 - 11): cm^2

Einheit der Hautfaltendicke (12): cm

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 4. Tag

2. am 12. Tag

3. am 42. Tag

krank = immobilisiertes Bein

gesund = nicht immobilisiertes Bein

Oberrand	1. Aufnahme		2. Aufnahme		3. Aufnahme	
	krank / gesund		krank / gesund		krank / gesund	
1	72,28	77,77	68,45	78,30	66,11	76,27
2	53,73	59,36	51,28	59,59	50,00	58,15
3	5,29	6,09	5,37	6,18	4,88	5,89
4	1,40	1,43	1,30	1,26	1,59	1,55
5	11,59	10,17	11,98	9,06	10,69	8,56
6	2,29	3,08	2,24	3,10	1,53	2,75
7	31,93	38,47	30,73	38,41	30,57	36,54
8	34,22	41,55	32,97	41,51	32,10	39,29
9	45,81	51,72	44,95	50,57	42,79	47,85
10	47,04	51,84	44,61	52,15	43,53	50,71
11	18,55	18,41	17,17	18,71	16,11	18,12
12	0,66	0,63	0,63	0,64	0,60	0,62

Fortsetzung: Rohdaten

Mitte	1. Aufnahme		2. Aufnahme		3. Aufnahme	
	krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
1	65,16	64,07	60,08	64,41	64,58	66,87
2	46,88	46,97	41,87	47,51	43,07	49,53
3	4,60	4,97	4,77	5,10	4,58	5,38
4	1,43	1,34	1,33	1,56	1,50	1,50
5	10,11	9,51	7,92	8,28	8,43	9,62
6	3,21	2,12	2,64	2,69	2,94	2,49
7	28,49	27,13	25,19	27,06	25,79	29,41
8	31,70	29,25	27,83	29,75	28,73	31,90
9	41,81	38,76	35,75	38,03	37,16	41,52
10	40,85	40,66	35,77	40,85	36,99	42,65
11	18,28	17,10	18,21	16,90	21,51	17,34
12	0,69	0,65	0,72	0,64	0,83	0,64

Unterrand	1. Aufnahme		2. Aufnahme		3. Aufnahme	
	krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
1	49,80	47,78	49,17	52,42	47,71	50,17
2	33,05	33,63	31,90	36,06	30,56	35,19
3	4,54	4,03	4,09	4,87	4,31	4,50
4	1,12	1,00	1,29	1,39	1,57	1,09
5	7,34	6,57	7,11	7,02	5,80	6,59
6	1,49	1,42	2,20	2,15	1,31	1,68
7	18,76	17,97	17,55	20,29	17,05	19,09
8	20,25	19,39	19,75	22,44	18,36	20,77
9	27,59	25,96	26,86	29,46	24,16	27,36
10	27,39	28,60	26,52	29,80	24,68	29,60
11	16,75	14,15	17,27	16,36	17,15	14,98
12	0,74	0,63	0,77	0,70	0,78	0,65

Tabelle der Differenzen (Absolutwerte)

Einheit der Flächen (1 - 11): cm^2

Einheit der Hautfaltendicke (12): cm

Dauer der verschiedenen Perioden:

1. Periode (Zeitraum zwischen 1. und 2. Aufnahme): 8 Tage

2. Periode (Zeitraum zwischen 2. und 3. Aufnahme): 30 Tage

Gesamtperiode (Zeitraum zwischen 1. und 3. Aufnahme): 38 Tage

krank = immobilisiertes Bein

gesund = nicht immobilisiertes Bein

+ = Zunahme

- = Abnahme

Oberrand	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	/ gesund	krank	/ gesund	krank	/ gesund
1	-3,83	+0,53	-2,34	-2,03	-6,17	-1,50
2	-2,45	+0,23	-1,28	-1,44	-3,73	-1,21
3	+0,08	+0,09	-0,49	-0,29	-0,41	-0,20
4	-0,10	-0,17	+0,29	+0,29	+0,19	+0,12
5	+0,39	-1,11	-1,29	-0,50	-0,90	-1,61
6	-0,05	+0,02	-0,71	-0,35	-0,76	-0,33
7	-1,20	-0,06	-0,16	-1,87	-1,36	-1,93
8	-1,25	-0,04	-0,87	-2,22	-2,12	-2,26
9	-0,86	-1,15	-2,16	-2,72	-3,02	-3,87
10	-2,43	+0,31	-1,08	-1,44	-3,51	-1,13
11	-1,38	+0,30	-1,06	-0,59	-2,44	-0,29
12	-0,03	+0,01	-0,03	-0,02	-0,06	-0,01

Fortsetzung: Differenzen (Absolutwerte)

Mitte	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	/ gesund	krank	/ gesund	krank	/ gesund
1	-5,08	+0,34	+4,50	+2,46	-0,58	+2,80
2	-5,01	+0,54	+1,20	+2,02	-3,81	+2,56
3	+0,17	+0,13	-0,19	+0,28	-0,02	+0,41
4	-0,10	+0,22	+0,17	-0,06	+0,07	+0,16
5	-2,19	-1,23	+0,51	+1,34	-1,68	+0,11
6	-0,57	+0,57	+0,30	-0,20	-0,27	+0,37
7	-3,30	-0,07	+0,60	+2,35	-2,70	+2,28
8	-3,87	+0,50	+0,90	+2,15	-2,97	+2,65
9	-6,06	-0,73	+1,41	+3,49	-4,65	+2,76
10	-5,08	+0,19	+1,22	+1,80	-3,86	+1,99
11	-0,07	-0,20	+3,30	+0,44	+3,23	+0,24
12	+0,03	-0,01	+0,11	±0,00	+0,14	-0,01

Unterrand	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	/ gesund	krank	/ gesund	krank	/ gesund
1	-0,63	+4,64	-1,46	-2,25	-2,09	+2,39
2	-1,15	+2,43	-1,34	-0,87	-2,49	+1,56
3	-0,45	+0,84	+0,22	-0,37	-0,23	+0,47
4	+0,17	+0,39	+0,28	-0,30	+0,45	+0,09
5	-0,23	+0,45	-1,31	-0,43	-1,54	+0,02
6	+0,71	+0,73	-0,89	-0,47	-0,18	+0,26
7	-1,21	+2,32	-0,50	-1,20	-1,71	+1,12
8	-0,50	+3,05	-1,39	-1,67	-1,89	+1,38
9	-0,73	+3,50	-2,70	-1,90	-3,43	+1,60
10	-0,87	+1,20	-1,84	-0,20	-2,71	+1,00
11	+0,52	+2,21	-0,12	-1,38	+0,40	+0,83
12	+0,03	+0,07	+0,01	-0,05	+0,04	+0,02

Tabelle der Differenzen (Relativwerte)

Einheit der Flächen (1 - 11) und der Hautfaltendicke (12): %

Dauer der Perioden: siehe Tabelle der Differenzen (Absolutwerte)

krank = immobilisiertes Bein

gesund = nicht immobilisiertes Bein

+ = Zunahme

- = Abnahme

Oberrand	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	gesund	krank	gesund	krank	gesund
1	- 5,3	+ 0,7	- 3,4	- 2,6	- 8,5	- 1,9
2	- 4,6	+ 0,4	- 2,5	- 2,4	- 6,9	- 2,0
3	+ 1,5	+ 1,5	- 9,1	- 4,7	- 7,8	- 3,3
4	- 7,1	-11,9	+22,3	+23,0	+13,6	+ 8,4
5	+ 3,4	-10,9	-10,8	- 5,5	- 7,8	-15,8
6	- 2,2	+ 0,6	-31,7	-11,3	-33,2	-10,7
7	- 3,8	- 0,2	- 0,5	- 4,9	- 4,3	- 5,0
8	- 3,7	- 0,1	- 2,6	- 5,3	- 6,2	- 5,4
9	- 1,9	- 2,2	- 4,8	- 5,4	- 6,6	- 7,5
10	- 5,2	+ 0,6	- 2,4	- 2,8	- 7,5	- 2,2
11	- 7,4	+ 1,6	- 6,2	- 3,2	-13,2	- 1,6
12	- 4,5	+ 1,6	- 4,8	- 3,1	- 9,1	- 1,6

Fortsetzung: Differenzen (Relativwerte)

Mitte	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	/ gesund	krank	/ gesund	krank	/ gesund
1	- 7,8	+ 0,5	+ 7,5	+ 3,8	- 0,9	+ 4,2
2	-10,7	+ 1,1	+ 2,9	+ 4,3	- 8,1	+ 5,5
3	+ 3,7	+ 2,6	- 4,0	+ 5,5	- 0,4	+ 8,2
4	- 7,0	+16,4	+12,8	- 3,8	+ 4,9	+11,9
5	-21,7	-12,9	+ 6,4	+16,2	-16,6	+ 1,2
6	-17,8	+26,9	+11,3	- 7,4	- 8,4	+17,5
7	-11,6	- 0,3	+ 2,4	+ 8,7	- 9,5	+ 7,8
8	-12,2	+ 1,7	+ 3,2	+ 7,2	- 9,4	+ 9,1
9	-14,5	- 1,9	+ 3,9	+ 9,2	-11,1	+ 7,1
10	-12,4	+ 0,5	+ 3,4	+ 4,4	- 9,4	+ 4,9
11	- 0,4	- 1,2	+18,1	+ 2,6	+17,7	+ 1,4
12	+ 4,3	- 1,5	+15,3	± 0,0	+20,3	- 1,5

Unterrand	1. Periode		2. Periode		Gesamtperiode	
	krank	/ gesund	krank	/ gesund	krank	/ gesund
1	- 1,3	+ 9,7	- 3,0	- 4,3	- 4,2	+ 5,0
2	- 3,5	+ 7,2	- 4,2	- 2,4	- 7,5	+ 4,6
3	- 9,9	+20,8	+ 5,4	- 7,6	- 5,1	+11,7
4	+15,2	+39,0	+21,7	-21,6	+40,2	+ 9,0
5	- 3,1	+ 6,8	-18,4	- 6,1	-21,0	+ 0,3
6	+47,7	+51,4	-40,5	-21,9	-12,1	+18,3
7	- 6,4	+12,9	- 2,8	- 5,9	- 9,1	+ 6,2
8	- 2,4	+15,7	- 7,0	- 7,4	- 9,3	+ 7,1
9	- 2,6	+13,5	-10,1	- 6,4	-12,4	+ 6,2
10	- 3,2	+ 4,2	- 6,9	- 0,7	- 9,9	+ 3,5
11	+ 3,1	+15,6	- 0,7	- 8,4	+ 2,4	+ 5,9
12	+ 4,1	+11,1	+ 1,3	- 7,1	+ 5,4	+ 3,2

2.2.4. Berechnung von Mittelwerten

Die prozentualen Flächenänderungen zogen wir zur Berechnung der Durchschnittswerte unseres Patientenkollektivs heran. Von den oben aufgeführten 12 Werten wählten wir 7 aus, die uns zur Beurteilung der Hypokinesefolgen geeignet erschienen. Jeweils für das gesunde und das kranke d.h. ruhiggestellte Bein mittelten wir die prozentuale Änderung folgender Flächen

1. Gesamtfläche des Unterschenkels
2. Fläche, die durch den äußeren Muskelumfang definiert ist
3. Gesamtmuskelfläche, die durch Addition der Einzelmuskelflächen berechnet wurde
4. Fläche der Extensoren
5. Fläche der Flexoren und Peroneusgruppe
6. Unterhautfettgewebe

und 7. der Hautfaltendicke.

Wir berechneten die Mittelwerte zunächst nach Schnittebenen und Perioden getrennt, also für Oberrand, Mitte und Unterrand je einen Wert für die 1., 2. und Gesamtperiode. Anschließend faßten wir für jede einzelne Periode die Mittelwerte der drei Schnitthöhen zusammen. So ergab sich am Ende für beide Beine die mittlere Zu-/Abnahme der genannten Flächen und der Hautfaltendicke in der 1., der 2. und der Gesamtperiode.

2.3. Messungen von Umfang und Hautfaltendicke

Mit Hilfe der Umfang- und Hautfaltendickemessungen wollten wir die Auswirkungen der Immobilisation auf das Muskel-, Binde- und Fettgewebe beurteilen. Da wir diese Messungen mit der Plethysmographie koppelten, können Zeitpunkt und Anzahl der Untersuchungen unter 2.4.2. nachgelesen werden.

2.3.1. Umfang

Die Patienten lagen auf dem Rücken und hatten die unteren Extremitäten in Neutral-Null-Stellung. Wir bestimmten mit einem Zentimetermaßband den Umfang beider Beine, am Oberschenkel in 10 und 20 cm Entfernung vom Oberrand der Patella, am Unterschenkel im Abstand von 22 cm vom Oberrand der Kniescheibe und im Sprunggelenk distal der Malleolen.

2.3.2. Hautfaltendicke

An Hand der Hautfalten wird die Dicke des subkutanen Binde- und Fettgewebes gemessen. Wir führten die Untersuchung mit einem Lange Skinfold Caliper durch, hergestellt von den Cambridge Scientific Industries. Das Gerät besteht aus einer drehbargelagerten Zwinge, die in zwei Hebelarme übergeht, an denen ein Federzug so angreift, daß während der Messungen ein konstanter Druck erzeugt wird. Der Abstand der Hebelarme wird auf einer Skala angezeigt. Faßt man mit den Backen der Zwinge eine Hautfalte (siehe Abb. 5), dann kann man deren Dicke auf 1/10 Millimeter genau ablesen. Wir untersuchten die Hautfaltendicke beider Beine, am ventralen Oberschenkel in 20 cm Entfernung vom Oberrand der Patella und am lateralen und medialen Unterschenkel in 22 cm Abstand vom proximalen Patellarrand. Bei einigen Patienten, vor allem Frauen, mußten wir auf diese Untersuchung verzichten, da ihr Unterhautgewebe zu straff war, um eine Hautfalte abheben zu können.

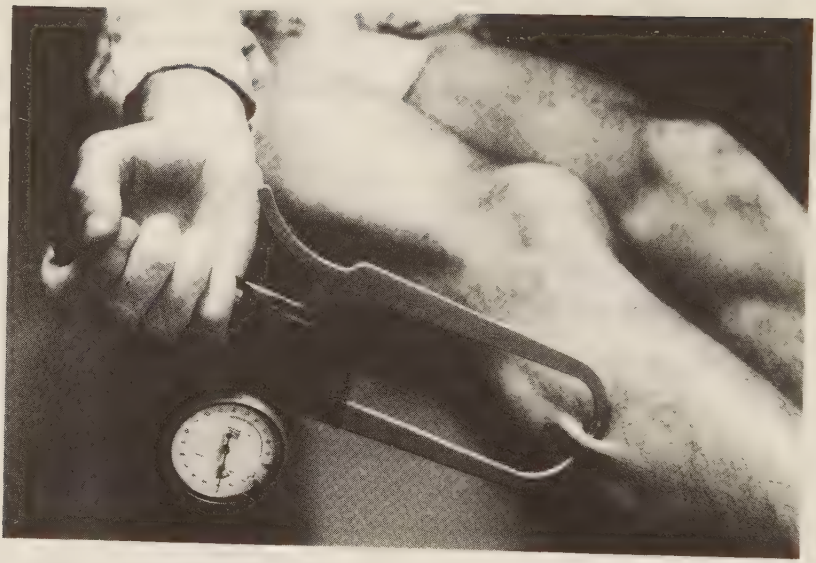


Abb. 5: Hautfaltendickemessung mit dem Skinfold Caliper

2.4. Plethysmographie

Die Plethysmographie setzten wir ein, um die Auswirkungen der Ruhigstellung auf das arterielle und venöse Gefäßsystem zu beurteilen.

2.4.1. Gerätbeschreibung und theoretische Grundlagen

Wir führten bei unseren Patienten eine Venenverschluß-Plethysmographie

(72) durch, deren Prinzip darin besteht, daß der venöse Abstrom der zu untersuchenden Extremität mit einer Staumanschette kurzzeitig unterbrochen, und die distale Volumenzunahme gemessen wird. Die Messung der Volumenzunahme erfolgt indirekt, durch Registrierung der Umfangsänderung mit Hilfe von Dehnungsmeßstreifenfühlern. Diese Meßfühler bestehen aus quecksilbergefüllten Silikonschläuchen, deren elektrische Leitfähigkeit sich bei Dehnung ändert. Auf diese Weise wird die Volumenzunahme von den Meßfühlern über eine Längenänderung in eine elektrische Widerstandsänderung umgesetzt. Diese wird vom Plethysmographen erfaßt und aufgezeichnet.

Wir verwendeten für unsere Untersuchung einen Periquant 3000, hergestellt vom LPM (Labor für Physikalische Medizin) U.G. Gutmann in Eurasburg. Die Plethysmographie-Anlage besteht aus einer Pneumatik-Einheit, einer Meßbrücke und einem Kompensationsschreiber. Die Pneumatik erzeugt die erforderlichen Staudrucke, die mittels 12 cm breiter Staumanschetten (11) auf die Extremitäten übertragen werden. Die Meßbrücke registriert die Widerstandsänderung der Dehnungsmeßstreifenfühler und verarbeitet sie so, daß der Schreiber das Plethysmogramm aufzeichnet. Da uns ein Zweikanal-Venenverschluß-Plethysmograph zur Verfügung stand, konnten wir beide Beine gleichzeitig untersuchen.

2.4.2. Art, Ablauf und Anzahl der Untersuchungen

Vor der Untersuchung ließen wir die Patienten 10 Minuten ruhig auf dem Rücken liegen, damit sich die Durchblutung der Muskulatur auf den Ruhezustand einstellte. Währenddessen wurde bei ihnen der Blutdruck gemessen. Zu Beginn der eigentlichen Messungen brachten wir die Patienten in die sachgemäße Position (16). Dazu lagerten wir sie mit leicht erhöhtem Oberkörper, und unterstützten die Beine am Oberschenkel und am Sprunggelenk derart, daß die Unterschenkel horizontal in Herzhöhe zu

liegen kamen. Wir achteten darauf, daß die Kniekehlen und Waden nirgendwo auflagen, und daß die Patienten völlig entspannt waren. Anschließend legten wir an den Oberschenkeln, möglichst nah am Knie, die Staumanschetten an, und befestigten an den Unterschenkeln, im Bereich des größten Wadenumfangs, die Dehnungsmeßstreifenfühler (siehe Abb. 6).

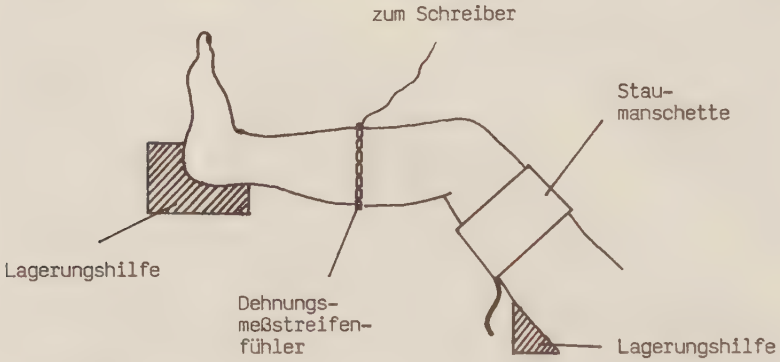


Abb. 6

Wir forderten die Patienten auf, die Beine während der Messungen stillzuhalten.

Als erstes untersuchten wir die Ruhedurchblutung. Zu diesem Zweck wurden die Manschetten, bei laufendem Papiervorschub, auf einen Druck von 60 mm Hg aufgeblasen. 10 sec lang verfolgten wir die, mehr oder weniger steil ansteigende, Gerade auf dem Plethysmographen, dann ließen wir den Stau wieder ab. Diese Prozedur führten wir insgesamt dreimal durch. Zwischen den einzelnen Messungen lagen Intervalle von jeweils 1 Minute. Nach der dritten Messung hatten die Patienten ca. 2 Minuten Zeit zur Erholung.

Als nächstes bestimmten wir die reaktive Hyperämie. Dazu erzeugten wir, mit einem Staudruck von 200 mm Hg, eine dreiminütige Ischämie. Kurz vor

Ablauf dieser Zeit wurde der Papiervorschub eingeschaltet, und nach genau 3 Minuten der Stau gelöst. Sobald der Druck auf Null abgesunken war, wurde erneut mit 60 mm Hg gestaut und 5 sec lang geschrieben (= Sofortwert), danach wurde der Druck wieder abgelassen. Derselbe Vorgang wurde 15 sec, 30 sec und 1 Minute nach Ablassen des 200 mm Hg-Staus wiederholt. Die Kurve der reaktiven Hyperämie wurde vom Schreiber fortlaufend aufgezeichnet. Nach diesem, etwas anstrengenderen Untersuchungsteil, gönnten wir unseren Patienten 10 Minuten Pause, damit sich die Durchblutung normalisieren konnte.

Als letztes ermittelten wir dann die Venenkapazität. Zu dieser Untersuchung wurden die Manschetten auf 60 mm Hg aufgepumpt. Da in diesem Fall die Aufzeichnung der ganzen Kurve relativ uninteressant ist, wurde nur in Intervallen geschrieben. Jeweils nach 1, 2, 3 und 4 Minuten ließen wir den Papiervorschub ca. 5 sec lang laufen. Auf diese Weise entstand ein stufenförmiges Plethysmogramm. Nach der 4. Minute wurde bei laufendem Papiervorschub der Stau gelöst, und der venöse Abstrom aufgezeichnet.

Von unseren zehn Versuchspersonen wurden neun plethysmographisch untersucht. Wir bemühten uns, das erste Plethysmogramm möglichst bald nach der Gipsabnahme zu schreiben, um immobilisationsbedingte Änderungen der Durchblutung zu erfassen. Dabei beurteilten wir die Ergebnisse im Seitenvergleich zwischen krankem und gesundem Bein. Bei zwei Patienten mußten wir uns mit dieser einmaligen Untersuchung begnügen, da es nicht möglich war, sie nochmals einzubestellen. Bei den übrigen Patienten führten wir nach 2 bis 7 Wochen eine zweite Untersuchung durch. Sie diente der Verlaufskontrolle. Wir bewerteten auch diese Messungen durch Vergleich der Ergebnisse beider Beine.

2.4.3. Auswertung

Der Auswertung der Plethysmogramme liegt die Vorstellung zu Grunde, daß die unmittelbar nach dem Stau gemessene Volumenzunahme dem arteriellen Bluteinstrom entspricht, der ohne Stau vorhanden wäre. Man geht davon aus, daß zu diesem Zeitpunkt noch keine gegenregulatorischen Einflüsse wirksam sind. Ausschlaggebend für die Auswertung, die wir von Hand durchführten, ist daher der erste Anstieg der Kurven (7, 26, 36).

Folgende Parameter waren uns vom Gerät vorgegeben:

1. Papiervorschub: 10 mm/sec = 60 mm/min
2. Eichung des Schreibers: Ein Ausschlag von 33 mm entspricht einer Durchblutungszunahme von 1 ml Blut/ 100 ml Gewebe, d.h. einem Volumenzuwachs von 1%.

Es ist allgemein üblich, den Zeitfaktor in die Berechnung der Durchblutungsgröße miteinzubeziehen. Man versteht unter Durchblutung, die in einer Minute einströmende Blutmenge. Für unser Gerät gilt, daß ein Schreiberausschlag von 33 mm in 1 Minute einer Durchblutungszunahme von 1 ml Blut/ 100 ml Gewebe x min entspricht.

Bei unserer Auswertung ermittelten wir, nachdem wir an den Anfangsteil der Kurve eine Tangente gelegt hatten, die zu einer Zeit von 10 sec gehörende Abszisse und die dazu gehörende Ordinate a. Diese Strecke a wurde auf 0,5 mm genau gemessen. Für die Steigung der Geraden, und damit für die Durchblutung (D), läßt sich folgende Formel ableiten:

$$\frac{33 \text{ mm}}{60 \text{ cm}} \cong \frac{1 \text{ ml Blut}}{100 \text{ ml Gewebe x min}}$$

$$D = a/10 \text{ sec} = a \times 6/60 \text{ sec}$$

$$D = a \times 6/33 \left[\text{ml Blut/ 100 ml Gewebe x min}\right]$$

Setzt man die gemessene Strecke a in die Formel ein, so läßt sich unschwer die Durchblutung berechnen. Auf diese Weise bestimmten wir drei Werte für die Ruhedurchblutung, aus denen anschließend ein Mittelwert gebildet wurde, und die reaktive Hyperämie (Sofort-, 15 sec-, 30 sec-, 1 min-Wert). Eine Skizze (siehe Abb. 7) soll den graphischen Teil der Auswertung veranschaulichen.

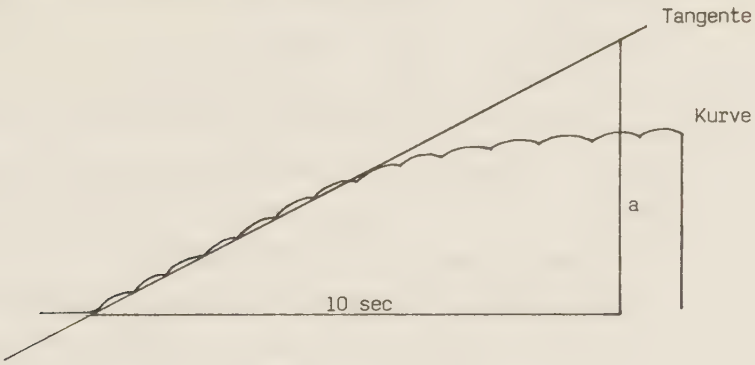


Abb. 7

Zur Berechnung der Venenkapazität (VK) läßt sich die oben genannte Formel noch vereinfachen:

$$VK = a/33 \left[\text{ml Blut/ 100 ml Gewebe}\right]$$

Der Zeitfaktor spielt hier keine Rolle, da es sich um einen statischen Wert handelt. Die Venenkapazität ist der Maximalwert, dem sich die Kurve asymptotisch nähert, wenn die Gefäße der Füllung zunehmend Widerstand entgegensetzen. Die Strecke a (in mm) kann wieder dem Plethysmogramm entnommen werden. Sie entspricht der Höhe des Schreiberausschlags nach 1, 2, 3 und 4 Minuten (siehe Abb. 8). In diese Abbildung ist auch die Kurve des venösen Abstroms eingezeichnet. Wir berechneten diesen Wert aus dem Anfangsteil der Abstromkurve nach der Formel für die Durchblutung in ml Blut/ 100 ml Gewebe x min.

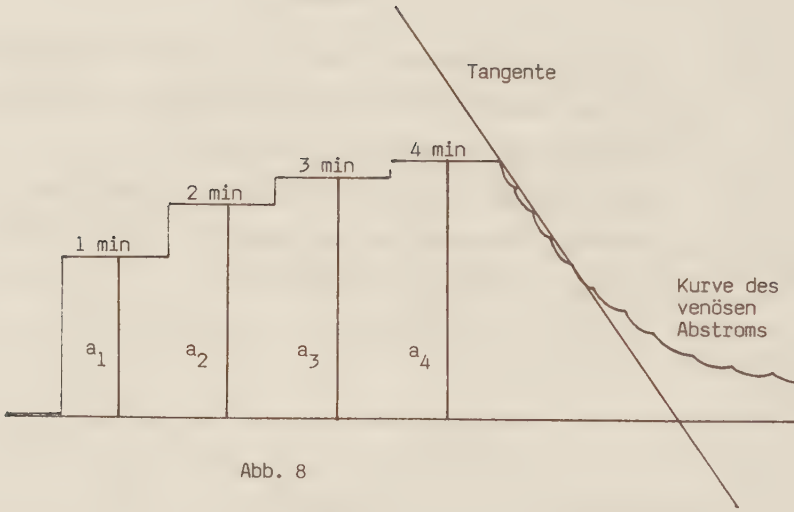


Abb. 8

Unter der Halbwertszeit des venösen Abstroms (HWZ) verstehen wir die Zeit, die vergeht, bis der Volumenzuwachs d.h. die Venenkapazität nach 4 Minuten wieder um die Hälfte abgenommen hat. Eine Skizze (siehe Abb. 9) soll diesen Teil der Auswertung verständlich machen.

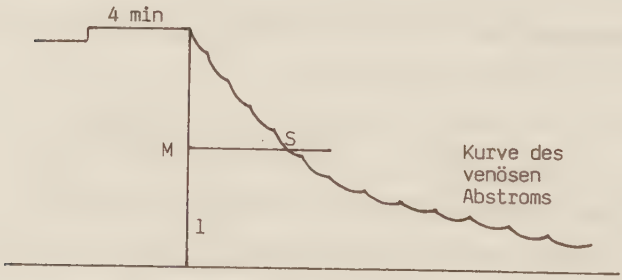


Abb. 9

Vom Ausgangspunkt des venösen Abstroms wird das Lot auf die Zeitachse gefällt. Man bestimmt den Mittelpunkt (M) dieser Strecke (l) und errichtet dort die Senkrechte, die die Abstromkurve in einem bestimmten Punkt (S) schneidet. Der Abstand des Schnittpunktes S von M ergibt die gesuchte Halbwertszeit.

2.5. Hauttemperaturmessungen

Auch die Hauttemperatur dient uns als Maßstab der Durchblutung. Anzahl und Zeitpunkt der Untersuchungen können unter 2.4.2. entnommen werden.

Zur Messung der Hauttemperatur bedienten wir uns eines Thermophil Systems M 220 der Ultrakust-Gerätebau GmbH & Co, KG in Ruhmannsfelden. Die Temperaturmessung erfolgt mit einem Infrarot-Stahlungsdetektor ohne die Huat zu berühren. Wir hielten den Meßfühler ca. 1 cm von der Körperoberfläche entfernt. Der Strahlungsfühler registriert die von der Haut abgegebenen Infrarotstrahlen mit einer Meßzelle, die die Wärmestrahlung in elektrische Spannung umwandelt. Diese wird vom Gerät verstärkt und als Temperatur, auf 0,1 °C genau, digital angezeigt. Wir leiteten die Hauttemperatur von folgenden Punkten ab: über der Stirn oberhalb der Nasenwurzel (als Vergleichsmessung), über dem ventralen Oberschenkel in 10 und 20 cm Entfernung vom Oberrand der Patella, über der Patella, über dem medialen und distalen Drittel der Tibiakante, über den Malleoli lateralis und medialis und über dem Vorfuß. Es wurden auch hier beide Beine untersucht, außerdem bestimmten wir, mit einem zum Gerät gehörenden Berührungsmeßfühler, die Zimmertemperatur.

2.6. Nachuntersuchung

Bei den nachuntersuchten Patienten setzten wir, mit Ausnahme der Computertomographie, die gleichen Methoden ein, wie bei den Personen, die wir bereits während ihrer Gipsbehandlung betreuten. Dadurch sollte die Frage geklärt werden, ob die angewandten Methoden geeignet sind, auch nach länger zurückliegender Immobilisation noch Veränderungen festzustellen.

2.6.1. Teilnehmer

Für die Nachuntersuchung schrieben wir 40 Patienten an, die alle im Klinikum Großhadern von den Orthopäden operiert und von der Abteilung für Physikalische Medizin krankengymnastisch behandelt worden waren. Unser Auswahlkriterium war: Die Gipsbehandlung mußte mehr als sechs Monate zurückliegen. Von den angeschriebenen Personen erklärten sich 20 zur Teilnahme an der Untersuchung bereit. 14 Patienten, darunter 8 Frauen und 6 Männer, hatten eine Oberschenkelgipsbehandlung hinter sich, bei 3 Frauen und 3 Männern war nur der Unterschenkel eingegipst gewesen.

Das Alter der einzelnen Patienten, ihre Diagnose (laut OP-Bericht) und die Dauer der Gipsbehandlung sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

1. Unterschenkelgipse

Alter	Geschlecht	Diagnose	Dauer der Gipsbehandlung
59	m	Hallux rigidus rechts	14 d USGG
38	w	fibulo-talare Bandruptur rechts	14 d USLG/4 w USGG
26	m	veraltete fibulo-talare Bandruptur	4 w USLG/3 w USGG
20	m	Ruptur des Ligamentum talufibulare anterius und calcaneofibulare rechts	10 d USLG/4 w USGG
23	w	Peronealsehnenluxation rechts	6 w USLG/2 w USGG
15	w	Ruptur des Ligamentum fibulotalare anterius rechts	14 d USLG/4 w USGG

2. Oberschenkelgipse

Alter	Geschlecht	Diagnose	Dauer der Gipsbehandlung
59	w	Valgusgonarthrose rechts	8 w OSLG
22	w	habituelle Patellaluxation und Chondromalazia patellae links	10 d OSLG/6 w Tutor
25	w	habituelle Patellaluxation und Chondromalazia patellae rechts	7 d OSLG/5 w OSGG
45	w	Ruptur des vorderen Kreuzbandes und des Ligamentum collaterale mediale mit Kapselriß rechts	11 d OSLG/6 w Tutor
33	w	antero-mediale und -laterale Rotationsinstabilität und Chondromalazia patellae rechts	10 d OSLG/6 w Tutor
23	w	habituelle Patellaluxation links	17 d OSLG/5 w Tutor
46	w	antero-mediale Knieinstabilität rechts	14 d OSLG/4 w Tutor
38	m	antero-mediale Knieinstabilität rechts	4 w OSLG/4 w Tutor

Fortsetzung: Oberschenkelgipse

Alter	Geschlecht	Diagnose	Dauer der Gipsbehandlung
55	m	veraltete Achillessehnenruptur links	innerhalb eines Jahres mehrere Gipsbehandlungen
32	m	proximaler Ausriß des vorderen Kreuzbandes, Chondropathia patellae links	10 d OSLG/6 w Tutor
43	m	frische Achillessehnenruptur Innenknöchelspitzenabriß links	16 d OSLG/4 w OSGG
17	m	frische osteochondrale Fraktur des lateralen Femurcondylus links	8 w OSLG/4 w Tutor
28	w	Z. n. Unterschenkelfraktur links Fehlstellung	8 d OSLG
24	m	inkomplette Kniegelenkszerreissung links	14 d OSLG/4 w Tutor

Legende: w = weiblich, m = männlich

d = Tag, w = Woche

USLG = Unterschenkelliegegips, USGG = Unterschenkelgehgips

OSLG = Oberschenkelliegegips, OSGG = Oberschenkelgehgips

Tutor = Gipsröhre

2.6.2. Fragebogen

Neben den verschiedenen Untersuchungen führten wir bei diesen Patienten auch eine Befragung durch. Damit wollten wir die subjektiven, durch die Gipsbehandlung verursachten Beschwerden erfassen, durch die sich die Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch beeinträchtigt fühlten. Ferner wurden in dem Fragebogen die Ergebnisse einer Begutachtung der Beine durch die Untersucher festgehalten. Wir beurteilten dabei im Seitenvergleich Umfang, Farbe und Temperatur. Als Anhaltspunkt für den zeitlichen Verlauf der Immobilisationsfolgen, erfragten wir von den berufstätigen Patienten die Arbeitsunfähigkeitsdauer.

2.6.3. Plethysmographie und Hauttemperaturmessungen

Bei jedem dieser Patienten schrieben wir ein Plethysmogramm und bewerteten es durch Gegenüberstellung von immobilisiertem und gesundem Bein. Durchführung und Auswertung der plethysmographischen Untersuchung erfolgten analog 2.4.2. und 2.4.3., die Hauttemperaturmessung analog 2.5..

2.6.4. Umfang- und Hautfaltendickemessungen

Auch bei den nachuntersuchten Patienten bestimmten wir Umfang und Hautfaltendicke wie unter 2.3. beschrieben. Ergänzend ist zu den Umfangmessungen anzumerken, daß bei den Patienten mit Oberschenkelgips, anstelle der Messung über dem Sprunggelenk, der Umfang des Knies über dem medialen Kniegelenkspalt gemessen wurde.

2.7. Statistische Auswertung

2.7.1. Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen

Die in der Arbeit erwähnten Mittelwerte und Standardabweichungen wurden nach folgenden Formeln (44, 86) berechnet:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma x_i}{n}$$

$$S_{x_i} = \sqrt{\frac{\Sigma (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Dabei gilt: $\bar{x}$ = Mittelwert

x_i = Einzelwert

S_{x_i} = Standardabweichung

n = Anzahl der Einzelwerte

2.7.2. Berechnung der Signifikanz

Da jeweils Werte miteinander verglichen wurden, die an demselben Individuum erhoben worden waren, setzten wir zum Vergleich der Mittelwerte den Student-t-Test für verbundene Stichproben (18, 44) ein. Wir ermittelten an Hand eines Rechenschemas (86) die Prüfgröße t.

Rechenschema (d = Differenz eines Wertepaars):

(1) Σd

(2) $\bar{d} = \frac{\Sigma d}{n}$

(3) Σd^2

(4) $\frac{(\Sigma d)^2}{n}$

(5) $S_{dd} = (3) - (4)$

(6) $S_d = \sqrt{\frac{S_{dd}}{n(n-1)}}$

(7) $t = \frac{\bar{d}}{S_d}$

Die berechneten t-Werte wurden in Abhängigkeit von den Freiheitsgraden (n - 1) mit den p-Werten einer Tabelle (28) verglichen. Auf diese Weise ermöglicht der t-Test eine Aussage über die Irrtumswahrscheinlichkeit, die zur Signifikanz in einem reziproken Verhältnis steht. Zur Bewertung unserer Ergebnisse setzten wir drei verschiedene Signifikanzniveaus fest:

$p < 0{,}05$ schwach signifikant

$p < 0{,}01$ signifikant

$p < 0{,}001$ hoch signifikant

Die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt entsprechend bei 5%, 1% bzw. 0,1%, man muß also damit rechnen, daß jeweils das 20ste, 100ste bzw. 1000ste Ergebnis zufällig zustande gekommen ist.

3. Ergebnisse

3.1. der CT-Auswertung

Um die Daten der acht computertomographisch untersuchten Patienten miteinander vergleichen zu können, beziehen wir uns hier nicht auf die sehr unterschiedlichen Absolutwerte der Flächen, sondern auf die prozentualen Flächenänderungen. Alle angegebenen Zahlen sind daher als Prozentangaben zu verstehen.

An Hand eines Patienten möchten wir jedoch beispielhaft zeigen, daß die Absolutwerte im Grunde die gleichen Resultate liefern. Mittels der Rohdaten von 1. und 3. Aufnahme stellten wir für eine Schnittebene den Vergleich des immobilisierten Beins vor und nach der Gipsbehandlung an. Zu diesem Zweck setzten wir jeweils die Gesamtfläche des Unterschenkels gleich 100%, und berechneten den prozentualen Anteil der vier Teilflächen (Knochen, Extensoren, Flexoren + Peroneusgruppe, Unterhautfettgewebe), die zusammen den Gesamtquerschnitt bilden. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden als Sektoren einer Kreisfläche (siehe Abb. 10) dargestellt, wobei das Größenverhältnis der beiden Kreise der Atrophie des Unterschenkels entspricht.

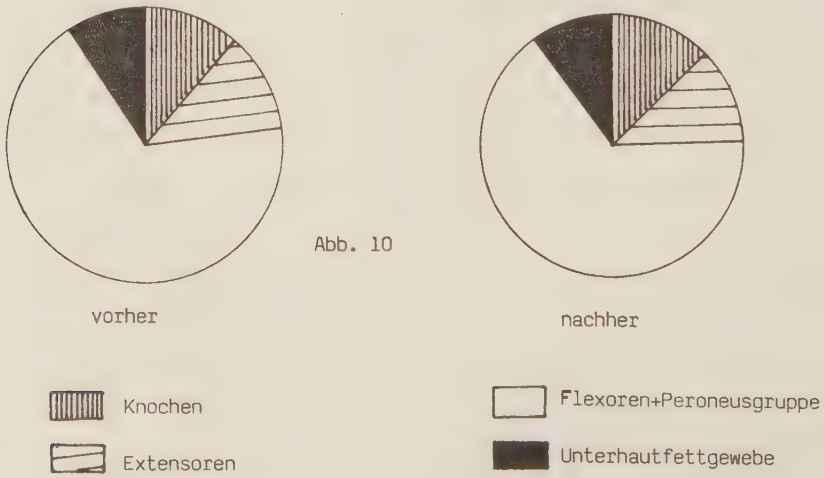


Abb. 10

3.1.1. Prozentuale Zu-/Abnahme der Einzelflächen und der Hautfaltendicke in den verschiedenen Perioden der Immobilisation

Nachfolgend sind die Flächen aufgeführt, die zur Berechnung der Mittelwerte herangezogen wurden. Es handelt sich um die sechs Flächen und die Hautfaltendicke, die unter 2.2.4. bereits genannt wurden.

3.1.1.1. Tabelle

Die Übersicht gibt, für das immobilisierte und das gesunde Bein getrennt, die prozentualen Flächenänderungen in den bezeichneten Perioden wieder. Die römischen Zahlen stehen für die Flächen und bedeuten:

I Gesamtfläche des Unterschenkels

II Fläche, die durch den äußeren Muskelumfang definiert ist

III Gesamtmuskelfläche, die durch Addition der Einzelmuskelflächen berechnet wurde

IV Fläche der Extensoren

V Fläche der Flexoren und Peroneus-Gruppe

VI Fläche des Unterhautfettgewebes

VII Hautfaltendicke

Die arabischen Ziffern 1 bis 8 stehen für die Versuchspersonen.
Ein Pluszeichen bedeutet eine Zunahme, ein Minuszeichen eine Abnahme der betreffenden Fläche.

immobilisiertes Bein

Oberrand / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 5,3	---	- 1,2	+ 1,4	- 6,9	- 6,1	- 7,9
II	---	- 4,6	---	- 1,4	+ 1,2	- 9,7	- 7,2	- 9,4
III	---	- 1,9	---	- 0,9	+ 3,6	-11,0	- 9,6	-16,2
IV	---	+ 3,4	---	+ 3,6	+ 9,0	- 6,8	+16,3	-17,2
V	---	- 3,7	---	- 1,8	+ 2,7	-12,0	-14,1	-15,9
VI	---	- 7,4	---	- 0,6	+ 3,0	+ 9,5	- 3,4	- 5,4
VII	---	- 4,5	---	± 0,0	± 0,0	+13,9	± 0,0	- 1,0

Oberrand / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 3,3	---	- 4,5	- 7,1	- 1,6	- 2,7	+ 4,2
II	---	- 2,5	---	- 2,0	- 7,9	- 5,0	- 5,9	+ 1,4
III	---	- 4,8	---	- 2,7	-11,4	- 8,4	- 7,5	+ 4,8
IV	---	-10,8	---	- 6,1	-12,5	- 5,7	+13,2	- 8,1
V	---	- 2,6	---	- 1,9	-11,2	- 9,0	-12,3	+ 8,5
VI	---	- 6,2	---	-11,9	+ 1,0	+14,3	+ 4,7	+ 8,7
VII	---	- 4,8	---	-11,1	+ 4,2	+17,1	+ 7,9	+ 7,1

Oberrand / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	- 2,8	- 8,5	+ 5,9	- 5,7	- 5,9	- 8,4	- 8,6	- 4,0
II	- 2,6	- 6,9	+ 0,1	- 3,3	- 6,8	-14,7	-12,7	- 8,5
III	- 6,8	- 6,6	+ 2,9	- 3,5	- 8,2	-18,5	-16,4	-12,2
IV	- 8,0	- 7,8	+ 8,5	- 2,7	- 4,6	-12,2	+31,6	-23,9
V	- 6,4	- 6,2	+ 2,0	- 3,7	- 8,8	-19,9	-24,7	- 8,8
VI	- 3,4	-13,2	+ 2,3	-12,5	+ 4,1	+25,1	+ 1,2	+ 2,8
VII	- 1,8	- 9,1	+22,4	-11,1	+ 4,2	+33,3	+ 7,9	+ 6,0

gesundes Bein

Oberrand / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	+ 0,7	---	- 2,6	+ 3,8	- 0,8	- 1,1	- 3,6
II	---	+ 0,4	---	- 5,8	+ 3,7	+ 1,1	- 2,1	- 1,1
III	---	- 2,2	---	- 5,8	+ 3,3	- 2,8	+ 2,2	+ 1,5
IV	---	-10,9	---	-10,3	+ 0,6	- 4 4	+ 6,1	- 0,6
V	---	- 0,1	---	- 4,7	+ 3,8	- 2,4	+ 1,4	+ 2,1
VI	---	+ 1,6	---	+ 9,0	+ 5,8	-11,3	+ 1,7	- 7,9
VII	---	+ 1,6	---	+11,3	± 0,0	-13,5	+ 2,7	- 6,9

Oberrand / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 2,6	---	+ 0,2	- 6,1	- 2,0	- 2,9	+ 4,3
II	---	- 2,4	---	+ 5,9	- 6,3	- 6,1	- 2,5	- 1,7
III	---	- 5,4	---	+ 1,9	- 9,4	- 4,9	- 7,2	- 8,4
IV	---	- 5,5	---	- 6,0	- 8,3	+10,5	-12,9	-10,8
V	---	- 5,3	---	+ 3,7	- 9,6	- 8,0	- 6,0	- 7,8
VI	---	- 3,2	---	-17,3	- 3,7	+23,8	- 3,7	+15,5
VII	---	- 3,1	---	-18,8	± 0,0	+28,1	- 2,8	+14,7

Oberrand / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	+ 0,6	- 1,9	+12,3	- 2,4	- 2,5	- 2,8	- 3,9	+ 0,5
II	- 1,1	- 2,0	+11,2	- 0,3	- 2,8	- 5,0	- 4,6	- 2,8
III	- 2,2	- 7,5	+ 8,7	- 4,1	- 6,4	- 7,5	- 5,1	- 7,0
IV	+ 0,4	-15,8	+ 9,0	-15,7	- 7,8	+ 5,6	- 7,6	-11,3
V	- 3,1	- 5,4	+ 8,7	- 1,2	- 6,2	-10,2	- 4,7	- 5,9
VI	+ 6,9	- 1,6	+16,0	- 9,8	+ 1,9	+ 9,9	- 2,1	+ 6,4
VII	+ 5,9	- 1,6	+10,1	- 9,7	± 0,8	+10,8	± 0,0	+ 6,9

immobilisiertes Bein

Mitte / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 7,8	---	- 3,4	- 6,9	- 4,6	-11,4	- 4,4
II	---	-10,7	---	- 2,4	- 9,0	- 5,5	-18,9	- 4,0
III	---	-14,5	---	- 6,9	-11,5	- 7,1	-23,2	- 2,7
IV	---	-21,7	---	- 9,9	-13,2	+ 0,4	- 9,0	+23,1
V	---	-12,2	---	- 6,1	-11,1	- 8,8	-26,9	- 8,2
VI	---	- 0,4	---	- 5,6	+27,6	- 0,6	+ 2,5	- 5,4
VII	---	+ 4,3	---	- 3,8	+31,3	± 0,0	+14,9	- 3,4

Mitte / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	+ 7,5	---	+ 0,7	+ 3,0	+ 2,7	± 0,0	- 6,8
II	---	+ 2,9	---	- 1,9	+ 3,2	+ 2,0	+ 2,2	- 6,1
III	---	+ 3,9	---	+ 0,2	+ 5,5	+ 2,2	+ 8,4	-10,1
IV	---	+ 6,4	---	+11,9	+ 4,2	- 6,4	+ 4,4	-27,7
V	---	+ 3,2	---	- 3,0	+ 5,8	+ 4,4	+ 9,7	- 5,1
VI	---	+18,1	---	+ 6,6	+ 1,0	+ 5,8	- 3,3	- 8,1
VII	---	+15,3	---	+ 6,7	± 0,0	+ 5,1	- 7,0	- 4,7

Mitte / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	- 4,4	- 0,9	- 2,8	- 2,7	- 4,1	- 2,1	-11,4	-10,9
II	- 5,6	- 8,1	- 2,0	- 4,3	- 6,1	- 3,6	-17,1	- 9,9
III	-10,5	-11,1	- 5,9	- 6,8	- 6,6	- 5,1	-16,7	-12,5
IV	-12,5	-16,6	-15,5	+ 0,9	- 9,6	- 6,1	- 5,0	-11,0
V	- 9,8	- 9,4	- 3,9	- 8,9	- 6,0	- 4,8	-19,8	-12,9
VI	- 0,2	+17,7	- 4,2	+ 0,7	+28,9	+ 5,2	- 0,9	-13,0
VII	+ 2,0	+20,3	- 2,3	+ 2,6	+31,3	+ 5,1	+ 6,9	- 8,0

gesundes Bein

Mitte / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	+ 0,5	---	- 8,3	- 0,8	+ 3,0	- 7,5	+ 5,5
II	---	+ 1,1	---	- 7,9	- 1,3	+ 2,9	-10,7	+ 3,7
III	---	- 1,9	---	- 9,4	- 1,7	+ 2,5	-19,3	+ 4,1
IV	---	-12,9	---	+ 1,5	- 5,7	+ 9,2	-23,4	+13,7
V	---	+ 1,7	---	-12,5	- 0,8	+ 0,9	-18,4	+ 1,8
VI	---	- 1,2	---	- 9,2	+ 7,6	+ 3,6	- 1,4	+10,0
VII	---	- 1,5	---	- 4,2	+11,1	+ 3,0	+ 3,4	+ 6,7

Mitte / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	+ 3,8	---	+ 2,8	+ 3,9	- 0,7	+ 6,8	- 3,1
II	---	+ 4,3	---	+ 2,1	+ 4,3	- 2,9	+ 8,7	- 3,3
III	---	+ 9,2	---	+ 1,6	+ 4,5	- 4,0	+19,8	- 6,0
IV	---	+16,2	---	-11,7	+ 4,7	- 2,2	+40,2	- 8,5
V	---	+ 7,2	---	+ 6,0	+ 4,4	- 4,5	+15,6	- 5,4
VI	---	+ 2,6	---	+ 4,9	- 1,8	+12,2	+ 3,5	- 2,6
VII	---	± 0,0	---	+ 2,9	- 5,0	+14,7	± 0,0	- 1,2

Mitte / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	+ 2,4	+ 4,2	- 4,2	- 5,7	+ 3,1	+ 2,3	- 1,2	+ 2,3
II	+ 3,7	+ 5,5	- 4,6	- 6,0	+ 2,9	- 0,1	- 3,0	+ 3,1
III	+ 9,3	+ 7,1	- 5,7	- 7,9	+ 2,7	- 1,6	- 3,3	- 2,2
IV	+17,6	+ 1,2	+ 2,5	-10,4	- 1,2	+ 6,8	+ 7,4	+ 4,1
V	+ 6,2	+ 9,1	- 7,5	- 7,2	+ 3,5	- 3,6	- 5,6	- 3,6
VI	- 1,4	+ 1,4	- 3,6	- 4,8	+ 5,6	+16,2	+ 2,0	+ 7,2
VII	- 3,4	- 1,5	- 1,1	- 1,4	+ 5,6	+18,2	+ 3,4	+ 5,3

immobilisiertes Bein

Unterrand / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 1,3	---	+ 4,7	+ 0,1	- 5,9	- 9,0	- 4,0
II	---	- 3,5	---	+ 2,7	- 1,6	- 7,8	- 8,2	- 4,2
III	---	- 2,6	---	+13,3	+ 1,4	- 7,8	-14,7	- 7,2
IV	---	- 3,1	---	+31,3	+ 8,4	- 4,3	+ 2,1	- 5,0
V	---	- 2,4	---	+ 8,3	- 0,1	- 8,9	-19,5	- 7,7
VI	---	+ 3,1	---	+ 8,7	+13,9	+ 0,7	- 9,9	- 3,5
VII	---	+ 4,1	---	+ 5,6	+14,3	+ 4,3	- 6,2	- 1,3

Unterrand / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 3,0	---	- 5,9	- 0,2	+13,8	+ 1,3	- 3,4
II	---	- 4,2	---	- 5,8	+ 2,7	+12,1	- 4,7	- 4,7
III	---	-10,1	---	- 9,3	- 2,6	+10,4	+ 5,0	- 2,3
IV	---	-18,4	---	-27,4	-14,7	+ 0,1	+ 2,3	- 6,3
V	---	- 7,0	---	- 3,1	+ 0,3	+13,3	+ 6,0	- 1,3
VI	---	- 0,7	---	- 5,9	-19,7	+19,2	+ 9,2	- 0,5
VII	---	+ 1,3	---	- 2,7	-21,9	+10,4	+ 9,9	+ 1,3

Unterrand / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	+ 2,5	- 4,2	+ 8,5	- 1,5	± 0,0	+ 7,0	- 7,7	- 7,3
II	+ 0,2	- 7,5	+ 3,4	- 3,3	+ 1,0	+ 3,3	-12,6	- 8,7
III	+ 9,2	-12,4	+ 8,6	+ 7,0	- 1,2	+ 1,7	-10,4	- 9,3
IV	+10,7	-21,0	- 1,1	- 4,9	- 7,6	- 3,2	+ 4,4	-11,0
V	+ 8,7	- 9,3	+10,2	+ 4,9	+ 0,2	+ 3,2	-14,7	- 8,9
VI	+ 9,0	+ 2,4	+17,5	+ 2,3	- 8,5	+20,0	- 1,6	- 3,9
VII	+ 9,8	+ 5,4	+13,3	+ 2,8	-10,7	+15,2	+ 3,0	± 0,0

gesundes Bein

Unterrand / 1. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	+ 9,7	---	+ 2,1	+ 7,0	- 0,2	-12,0	- 2,9
II	---	+ 7,2	---	- 6,1	+ 8,1	- 0,3	-10,8	+ 0,4
III	---	+13,5	---	- 6,4	+ 8,2	+ 0,7	-16,6	- 3,8
IV	---	+ 6,8	---	- 3,2	+ 5,9	+ 5,3	-36,0	+ 2,4
V	---	+15,7	---	- 7,5	+ 8,7	- 0,6	-11,1	- 5,4
VI	---	+15,6	---	+24,5	- 2,4	+ 0,3	-13,4	- 9,9
VII	---	+11,1	---	+25,4	- 8,0	± 0,0	- 6,5	- 9,8

Unterrand / 2. Periode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	---	- 4,3	---	- 2,4	+ 2,3	+ 6,7	+ 7,3	+ 5,7
II	---	- 2,4	---	- 0,4	+ 3,0	+ 8,0	+ 6,7	+ 7,1
III	---	- 6,4	---	+ 3,3	+ 3,4	+ 8,9	+27,5	+ 8,9
IV	---	- 6,1	---	- 8,3	+ 4,1	- 0,5	+45,0	+ 1,7
V	---	- 7,4	---	+ 7,6	+ 3,2	+11,8	+23,9	+14,2
VI	---	- 8,4	---	- 6,6	- 4,6	+ 1,8	+ 8,0	+ 2,2
VII	---	- 7,1	---	- 6,8	- 4,3	± 0,0	+ 3,0	± 0,0

Unterrand / Gesamtperiode

	1	2	3	4	5	6	7	8
I	+17,0	+ 5,0	+ 1,7	- 0,3	+ 9,4	+ 6,5	- 5,6	+ 2,6
II	+16,9	+ 4,6	+ 0,8	- 6,5	+11,3	+ 7,6	- 4,8	+ 7,5
III	+22,6	+ 6,2	+ 1,3	- 3,3	+11,9	+ 9,6	+ 6,3	+ 4,7
IV	+19,0	+ 0,3	- 0,3	-11,3	+10,3	+ 4,7	- 7,2	+ 4,1
V	+23,9	+ 7,1	+ 1,9	- 0,5	+12,2	+11,0	+10,1	+ 8,1
VI	+17,6	+ 5,9	+ 3,3	+16,3	- 6,9	+ 2,1	- 6,5	- 7,8
VII	+ 8,2	+ 3,2	+ 2,4	+16,9	-12,0	± 0,0	- 3,7	- 9,8

3.1.1.2. Graphische Darstellung

Zur Veranschaulichung der unter 3.1.1.1. tabellarisch geordneten Daten, fertigten wir für alle Flächen, mit Ausnahme von II, und für die Hautfaltendicke Histogramme (siehe Abb. 11) an.

Für jeweils eine Schnittebene stellen wir die prozentualen Flächenänderungen in der ersten, der zweiten und der Gesamtperiode dar. Jede Säule steht für einen Patienten. Geht die Säule von der Nulllinie nach oben, bedeutet das Zunahme, zeigt sie nach unten, heißt das Abnahme, und fehlt sie ganz, dann hat sich die Fläche im entsprechenden Zeitraum nicht verändert. Die Höhe der Säulen ist durch die Prozentskala auf der Ordinate (1 cm ≙ 5%) bestimmt. Die Säulen wurden auf der Abszisse in abnehmender Reihenfolge aufgetragen, so daß der positivste Wert ganz links und der negativste am weitesten rechts steht. Die Daten für das immobilisierte Bein (schwarz) und das gesunde Bein (hell) wurden jeweils nebeneinander aufgezeichnet.

3.1.2. Durchschnittswerte der prozentualen Flächenänderungen des Patientenkollektivs

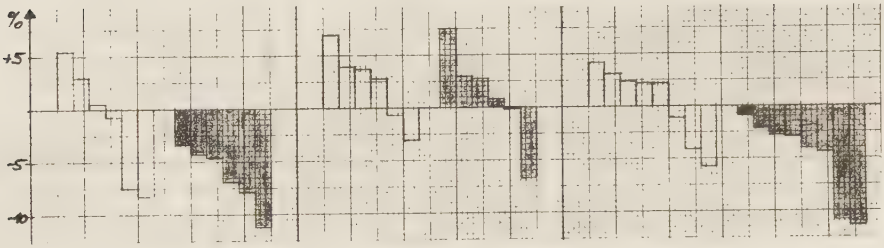
Unter diesem Punkt werden die Ergebnisse der unter 2.2.4. beschriebenen Berechnungen aufgeführt.

3.1.2.1. Tabelle

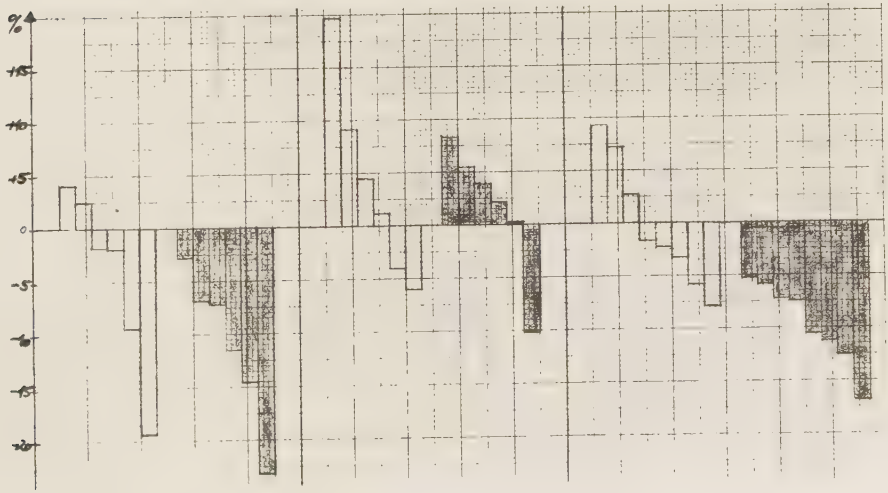
Nummerierung der Flächen analog 3.1.1.1.

Abb. 11.1. - 6.: Graphische Darstellung der prozentualen Zu-/Abnahme der Einzelflächen und der Hautfaltendicke in den verschiedenen Perioden der Immobilisation

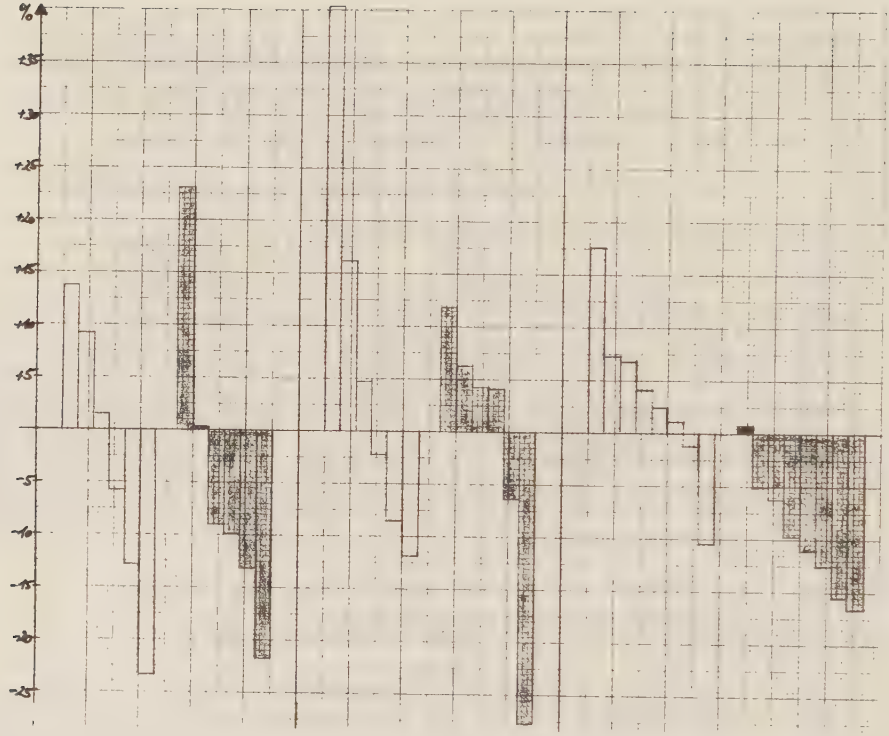
Von links nach rechts folgen aufeinander die Werte der ersten Periode, der zweiten Periode und der Gesamtperiode.



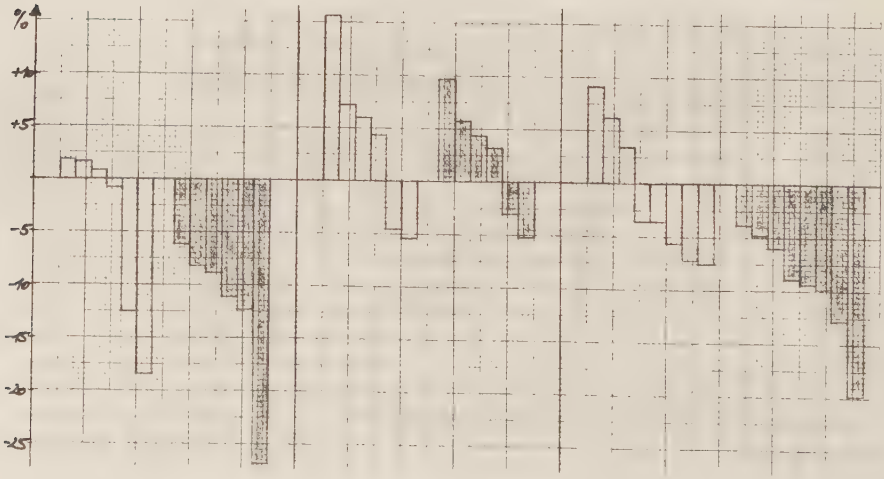
11.1. Gesamtfläche des Unterschenkels



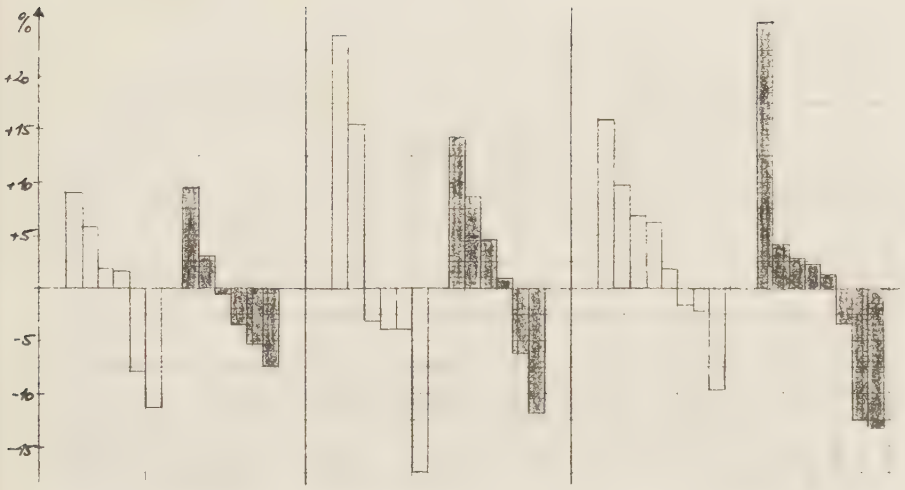
11.2. Gesamtmuskelfläche (durch Addition)



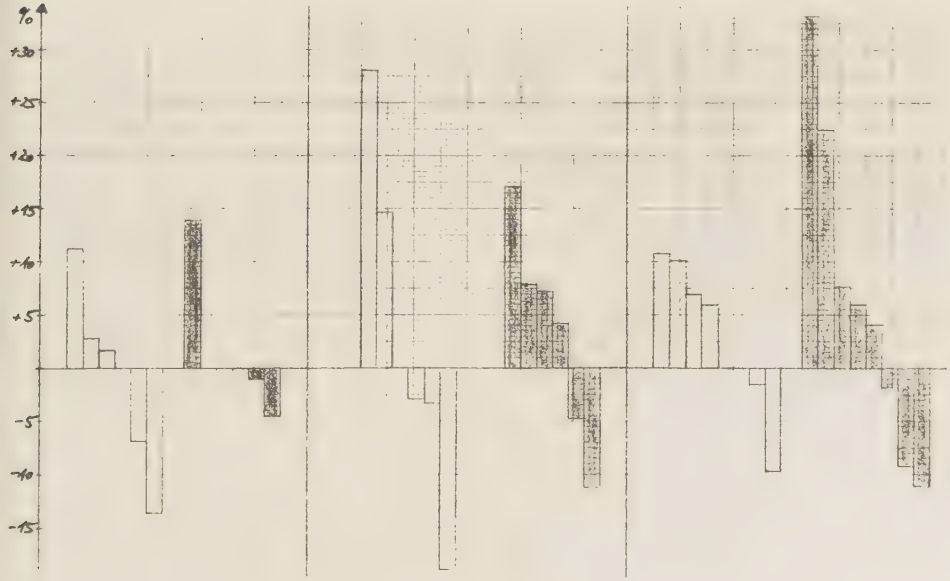
11.3. Fläche der Extensoren



11.4. Fläche der Flexoren + Peroneusgruppe



11.5. Fläche des Unterhautfettgewebes



11.6. Hautfaltendicke

1.Periode

immobilisiertes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 4,33	- 5,18	- 6,00	+ 1,38	- 6,23	- 0,73	+ 1,40
	s_{x_i}	3,67	4,44	6,88	10,03	7,26	5,25	5,42
Mitte	$\bar{x}$	- 6,42	- 8,42	-10,98	- 5,05	-12,22	+ 3,03	+ 7,22
	s_{x_i}	2,95	5,99	12,32	15,52	7,51	12,45	13,67
Unterrand	$\bar{x}$	- 2,57	- 3,77	- 2,93	+ 4,90	- 5,05	+ 2,17	+ 3,47
	s_{x_i}	4,82	4,07	9,62	13,88	9,39	8,50	6,92
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	- 4,44	- 5,79	- 6,06	+ 0,41	- 7,83	+ 1,49	+ 4,03
	s_{x_i}	4,01	5,07	9,13	12,93	8,24	8,51	8,91

gesundes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 0,60	- 0,63	- 0,63	- 3,25	- 0,02	- 0,18	- 0,80
	s_{x_i}	2,62	3,22	3,54	6,62	3,12	7,87	8,53
Mitte	$\bar{x}$	- 1,27	- 2,03	- 4,28	- 2,93	- 4,55	+ 1,57	+ 3,08
	s_{x_i}	5,58	5,95	8,72	13,92	8,73	6,99	5,51
Unterrand	$\bar{x}$	+ 0,62	- 0,25	- 0,73	- 3,13	- 0,03	+ 2,45	+ 2,03
	s_{x_i}	7,72	7,36	10,75	16,51	10,31	14,77	13,75
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	- 0,42	- 0,97	- 1,88	- 3,10	- 1,53	+ 1,28	+ 1,44
	s_{x_i}	5,42	5,48	7,94	12,25	7,84	9,90	9,42

2. Periode

immobilisiertes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 2,52	- 3,65	- 5,00	- 5,00	- 4,75	+ 1,77	+ 3,40
	s_{x_i}	3,78	3,30	5,66	9,30	7,81	9,64	10,00
Mitte	$\bar{x}$	+ 1,18	+ 0,38	+ 1,68	- 1,20	+ 2,50	+ 3,35	+ 2,57
	s_{x_i}	4,71	3,67	6,42	14,28	5,56	9,11	8,20
Unterand	$\bar{x}$	+ 0,43	- 0,77	- 1,48	-10,73	+ 1,37	+ 0,27	- 0,28
	s_{x_i}	7,02	7,01	8,01	11,48	6,18	13,24	8,96
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	- 0,30	- 1,35	- 1,60	- 5,64	- 0,29	+ 1,80	+ 1,90
	s_{x_i}	5,28	4,97	6,95	11,85	7,28	10,25	8,76

gesundes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 1,52	- 2,18	- 5,57	- 5,50	- 5,50	+ 1,90	+ 3,02
	s_{x_i}	3,50	4,43	4,04	8,33	4,76	14,98	16,26
Mitte	$\bar{x}$	+ 2,25	+ 2,20	+ 4,18	+ 6,45	+ 3,88	+ 3,13	+ 1,90
	s_{x_i}	3,56	4,63	9,45	19,31	7,87	5,35	6,77
Unterrand	$\bar{x}$	+ 2,55	+ 3,66	+ 7,60	+ 5,98	+ 8,88	- 1,30	- 2,53
	s_{x_i}	4,92	4,33	11,24	19,68	10,60	6,29	4,14
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	+ 1,09	+ 1,23	+ 2,07	+ 2,31	+ 2,42	+ 1,24	+ 0,80
	s_{x_i}	4,25	4,91	10,06	16,23	9,77	9,47	10,12

Gesamtperiode

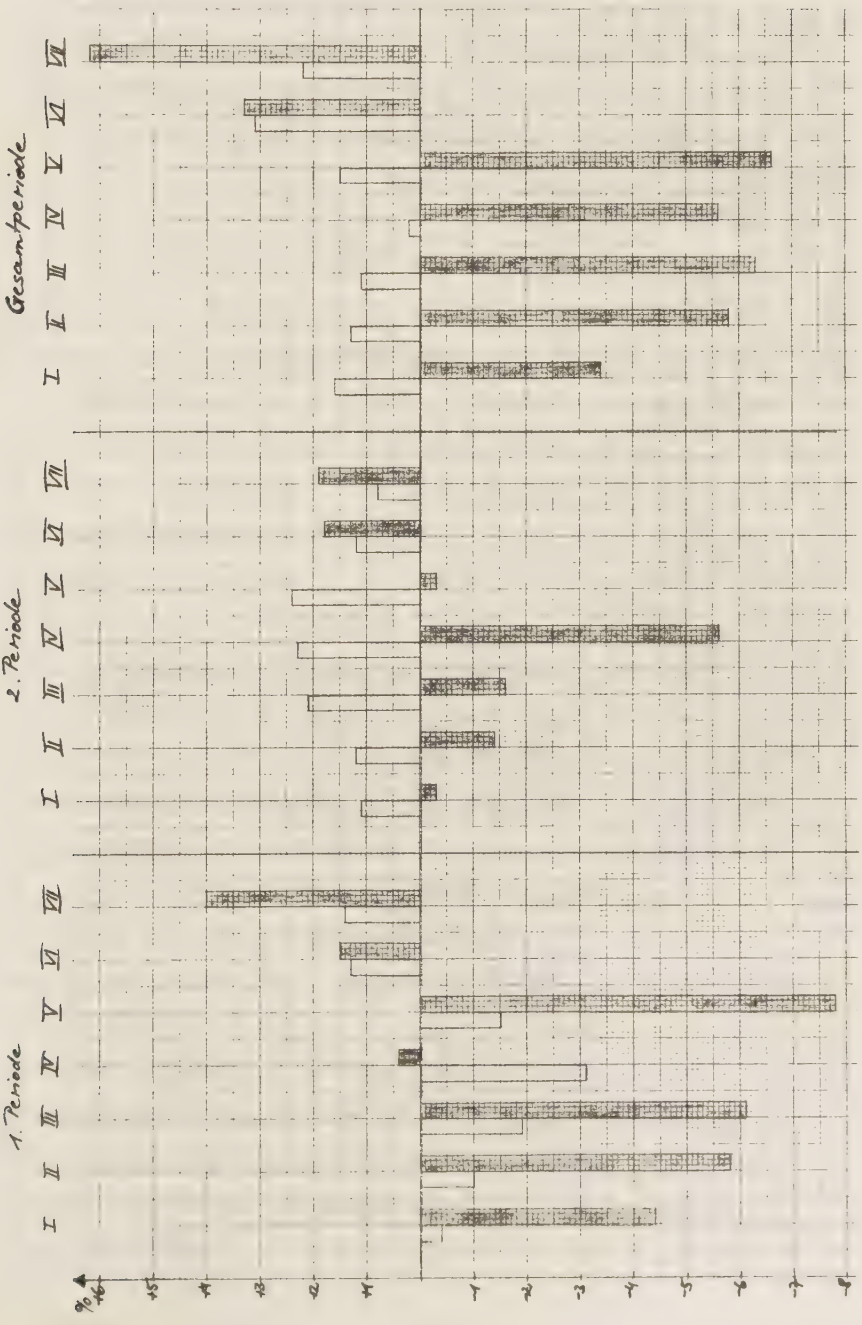
immobilisiertes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 4,75	- 6,92	- 8,66	- 3,18	- 9,56	+ 1,07	+ 6,47
	s_{x_i}	4,81	5,04	6,96	16,47	8,67	11,94	14,26
Mitte	$\bar{x}$	- 4,91	- 7,09	- 9,40	- 9,42	- 9,44	+ 4,27	+ 7,24
	s_{x_i}	4,00	4,75	3,98	5,81	5,12	13,19	11,10
Unterrand	$\bar{x}$	- 0,43	- 3,02	- 0,85	- 4,21	- 0,71	+ 4,65	+ 4,85
	s_{x_i}	6,08	6,00	8,90	9,61	9,17	10,07	8,25
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	- 3,36	- 5,79	- 6,30	- 5,60	- 6,57	+ 3,33	+ 6,19
	s_{x_i}	5,28	5,41	7,70	11,41	8,63	11,42	11,28

gesundes Bein

		I	II	III	IV	V	VI	VII
Oberrand	$\bar{x}$	- 0,01	- 0,92	- 3,89	- 5,40	- 3,50	+ 3,45	+ 2,80
	s_{x_i}	5,22	5,15	5,41	9,42	5,57	8,05	6,92
Mitte	$\bar{x}$	+ 0,40	+ 0,19	- 0,20	+ 3,50	- 1,09	+ 2,82	+ 3,14
	s_{x_i}	3,66	4,27	6,06	7,99	6,43	6,79	6,97
Unterrand	$\bar{x}$	+ 4,54	+ 4,67	+ 7,41	+ 2,45	+ 9,22	+ 3,00	+ 0,65
	s_{x_i}	6,77	7,92	7,72	9,54	7,39	10,03	8,83
Mittelwert aus den drei Schnittebenen	$\bar{x}$	+ 1,64	+ 1,31	+ 1,11	+ 0,18	+ 1,54	+ 3,09	+ 2,20
	s_{x_i}	5,54	6,23	7,83	9,52	8,39	8,03	7,29

Abb. 12: Graphische Darstellung der Durchschnittswerte der prozentualen Flächenänderungen



3.1.2.2. Graphische darstellung

Die mittlere Zu-/Abnahme der genannten Flächen in der ersten, der zweiten und der Gesamtperiode wird analog 3.1.1.2. in Form von Säulen dargestellt (siehe Abb. 12). Für jede Periode wird eine Graphik verfertigt, in die sämtliche Flächen und die Hautfaltendicke jeweils beider Beine eingezeichnet werden.

3.1.3. Statistische Auswertung

Um die Ergebnisse der CT-Auswertung statistisch zu erhärten, wendeten wir einen Student-t-Test für paarige Stichproben an (Beschreibung des Tests unter 2.7.). Wir wollten damit folgende Fragen klären:

1. Nimmt die Gesamtmuskelmasse am ruhiggestellten Bein signifikant stärker ab als am gesunden Bein?
2. Besteht ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen krankem und gesundem Bein in der Entwicklung des Unterhautfettgewebes?
3. Besteht am kranken Bein ein statistisch signifikanter Unterschied in der Entwicklung von Gesamtmuskelmasse und Unterhautfettgewebe?
4. Nimmt am krankem Bein die Flexoren + Peroneusgruppe signifikant stärker ab als die Extensoren?

Für den t-Test faßten wir jeweils die Daten der drei Schnittebenen in der Gesamtperiode zusammen, so daß sich mit den 8 CT- Patienten 23 Freiheitsgrade (n-1) ergaben.

Bei den statistischen Berechnungen stellte sich heraus, daß die Muskulatur am immobilisierten Bein deutlich stärker abnimmt, als auf der gesunden Seite. Der t-Test war auf einem Niveau von $p<0,001$ hochsignifikant. Kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Beinen war dagegen in der Entwicklung des Unterhautfettgewebes festzustellen. Ebensowenig besteht ein signifikanter Unterschied in der Abnahme von Extensoren und Flexoren + Peroneusgruppe am kranken Bein. Signifikant

($p<0,01$) unterschiedlich laufen jedoch am kranken Bein die Veränderungen von Muskulatur und Unterhautfettgewebe ab.

3.1.4. Zusammenfassung der CT-Ergebnisse

Die unter 3.1. dargestellten Kreisflächen lassen erkennen, daß der Unterschenkel während der Gipsbehandlung nur unwesentlich dünner geworden ist, und daß sich der Anteil der verschiedenen Gewebe an der Gesamtfläche kaum verändert hat. Auch die Histogramme bestätigen die klinische Erfahrung, daß ein Unterschenkelgips selten zu auffälligen Veränderungen der ruhiggestellten Extremität führt. Die Mittelwerte zeigen die Geringfügigkeit der Flächenänderungen, die durchweg unter 8% liegen. Im Gegensatz zum Oberschenkelgips (35) treten bei der Unterschenkelimmobilisation keine drastischen Einbußen an Muskulatur und praktisch keine Veränderungen des Unterhautfettgewebes auf. Eine Zunahme von 2% kann in Anbetracht des Fehlers der planimetrischen Auswertung vernachlässigt werden.

Von den Durchschnittswerten weichen jedoch die einzelnen Patienten stellenweise erheblich ab. Dies verdeutlichen die Graphiken unter 3.1.1.2.. Zum Teil betragen die Einzelwerte ein Mehrfaches der Mittelwerte. Trotz der großen Schwankungsbreite lassen sich gewisse Tendenzen feststellen.

Es zeigt sich, daß Gesamtfläche und Gesamtmuskelfläche eine gleichsinnige Entwicklung nehmen, jedoch atrophiert die Muskelfläche des immobilisierten Beins stärker als die Gesamtfläche. Am stärksten nimmt die Muskulatur in der ersten Periode, also in der ersten Woche nach Eingipsung ab. In dieser Zeit atrophieren auch die Muskeln der gesunden Seite, was verständlich ist, da die Patienten meist einen Liegegips hatten und daher auch das gesunde Bein weniger belasteten. Die Abnahme holt das gesunde Bein in der zweiten Periode wieder auf.

Auch am kranken Bein verlangsamt sich in diesem Zeitraum das Tempo der Atrophie. Neben einer geringfügigen Abnahme ist bei einigen Patienten sogar eine Zunahme der Muskulatur zu verzeichnen. In der Gesamtperiode atrophiert die Muskelmasse des eingegipsten Unterschenkels signifikant stärker als die der gesunden Seite.

Kein signifikanter Unterschied besteht dagegen im Ausmaß der Atrophie von Extensoren und Flexoren+Peroneusgruppe (kurz Plantarflexoren genannt) am kranken Bein. Die Graphiken für die Gesamtperiode unter 3.1.1.2. spiegeln dieses Testergebnis wieder. Hierbei muß man jedoch beachten, daß die Flexoren das drei- bis vierfache der Muskelmasse der Extensoren umfassen. Bei gleicher prozentualer Abnahme fallen sie bei der Gesamtmuskelfläche und folglich bei der Gesamtfläche stärker ins Gewicht, und bestimmen praktisch deren Größe. So erklärt sich, daß die Säulendiagramme und die Mittelwerte für Plantarflexoren und Gesamtmuskulatur nahezu identisch sind.

Im Grunde läuft auch bei den Extensoren die Atrophie nicht anders ab. Allerdings treten hier größere Unterschiede zwischen den einzelnen Patienten auf. Daraus ergeben sich in der ersten und zweiten Periode Mittelwerte, die von denen der Flexoren deutlich abweichen. Bei ihrer Bewertung muß man berücksichtigen, daß der planimetrische Meßfehler für kleine Flächen, d.h. für die Extensoren, wesentlich größer ist, als für die Flexoren.

Die Muskulatur nimmt während der Immobilisation bei allen Patienten mehr oder weniger stark ab. Dagegen zeigt das Unterhautfettgewebe heterogene Veränderungen. Statistisch ermittelten wir einen signifikanten Unterschied in der Entwicklung von Unterhautfettgewebe und Muskulatur am kranken Bein. Im Mittel berechneten wir, aus extremen Zunahmen (bis 25%) und mäßigen Abnahmen (bis 10%), ein Plus von 2%. Das Unterhautfettgewebe entwickelt sich an beiden Beinen in allen

drei Perioden annähernd gleich, wobei in der zweiten Periode extremere Veränderungen stattfinden, als zu Beginn der Gipsbehandlung. Die Tatsache, daß zwischen dem Unterhautfettgewebe des kranken und des gesunden Unterschenkels, am Ende der Immobilisation, kein signifikanter Unterschied besteht, konnten wir mit dem t-Test beweisen.
Vergleicht man unter 3.1.1.2. die Graphiken von Unterhautfettgewebe und Hautfaltendicke, so sieht man, daß sie sich für das gesunde Bein ungefähr entsprechen, daß die Hautfaltendicke des kranken Beins jedoch prozentual stärker zunimmt, als das Unterhautfettgewebe. Die Mittelwerte bestätigen das. Bedenkt man, daß die Fläche des Unterschenkels insgesamt kleiner wird, dann wird verständlich, warum die Hautfaltendicke bei fast unverändertem Unterhautfettgewebe zunimmt.
Bei allen beschriebenen Entwicklungen sollte man nicht aus den Augen verlieren, daß im Schnitt die während einer Immobilisation des Unterschenkels ablaufenden Veränderungen geringfügig sind.

3.2. (Ergebnisse) der Umfang- und Hautfaltendickemessungen

Es handelt sich um die Ergebnisse der unter 2.3. beschriebenen Untersuchungen. Da wir diese Messungen stets gemeinsam mit der Plethysmographie durchführten, teilen wir auch diese Werte, wie unter 3.3. beschrieben, in zwei Gruppen ein. Nachstehend werden in tabellarischer Form jeweils die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben. Die Einzelwerte können im Anhang nachgelesen werden.

Wir bewerten die Ergebnisse im Seitenvergleich (krank - gesund). Die statistische Auswertung erfolgte wiederum mit Hilfe des Student-t-Tests für verbundene Stichproben. Es wurden jeweils die Mittelwerte des immobilisierten und gesunden Beins einander gegenübergestellt. Wir untersuchten, um wieviel sich beide Beine im Durchschnitt unterscheiden und auf welchem Niveau (bei zweiseitiger Fragestellung) dieser Unterschied signifikant ist. Die mittleren Differenzen und das Signifikanzniveau sind unter den Punkten "Statistische Auswertung" tabellarisch aufgeführt. Zur Orientierung über die, in den Tabellen genannten Meßpunkte, bitten wir die Methodikbeschreibung unter 2.3.1. und 2.3.2. zu beachten.

Für die Tabellen gilt folgende Legende:

krank = immobilisiertes Bein

gesund = nicht immobilisiertes Bein

n = Anzahl der Personen

$\bar{x}$ = Mittelwert

S_{x_i} = Standardabweichung

$\frac{\Sigma d}{n}$ = mittlere Differenz

p = Signifikanzniveau

Ø = kein signifikanter Unterschied

3.2.1. Umfang

Einheit: cm

3.2.1.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

		Gruppe 1 n = 9(8) krank / gesund		Gruppe 2 n = 7(6) krank / gesund	
1. Oberschenkel 20	$\bar{x}$	51,6	52,9	53,4	54,1
	S_{x_i}	4,9	5,0	4,9	4,9
2.Oberschenkel 10	$\bar{x}$	43,9	44,9	45,8	46,2
	S_{x_i}	4,3	4,5	4,3	4,2
3. Unterschenkel 22	$\bar{x}$	33,4	34,6	34,3	34,9
	S_{x_i}	3,6	3,8	4,2	4,2
4. Sprunggelenk	$\bar{x}$	29,3	28,7	29,5	29,4
	S_{x_i}	2,4	2,3	2,4	2,6

Die bei n in Klammern angegebenen Zahlen gelten für die Sprunggelenke.

3.2.1.2. Statistische Auswertung

	Gruppe 1 $\frac{\Sigma d}{n}$ / p		Gruppe 2 $\frac{\Sigma d}{n}$ / p	
1. Oberschenkel 20	1,33	<0,01	1,14	<0,05
2. Oberschenkel 10	1,00	Ø	0,43	Ø
3. Unterschenkel	1,67	<0,001	0,57	<0,05
4. Sprunggelenk	0,56	Ø	0,08	Ø

3.2.2. Hautfaltendicke

Einheit: mm

Die Anzahl der Werte, die den Ergebnissen zu Grunde liegen, ist beschränkt, da es bei mehreren Patienten, wegen der Straffheit des Unterhautfettgewebes unmöglich war, die Hautfaltendicke zu bestimmen.

3.2.2.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

		Gruppe 1			Gruppe 2		
		n	krank	/ gesund	n	krank	/ gesund
1. Oberschenkel	$\bar{x}$	4	13,5	13,3	2	9,0	8,6
	S_{x_i}		7,5	6,9		3,2	2,8
2. Unterschenkel lateral	$\bar{x}$	5	11,4	10,4	4	8,9	8,4
	S_{x_i}		4,4	4,0		2,9	2,7
3. Unterschenkel medial	$\bar{x}$	7	10,3	9,8	5	9,8	9,6
	S_{x_i}		3,6	3,8		4,5	4,4

3.2.2.2. Statistische Auswertung

	Gruppe 1		Gruppe 2	
	$\frac{\Sigma d}{n}$	/ p	$\frac{\Sigma d}{n}$	/ p
1. Oberschenkel	0,23	Ø	0,40	Ø
2. Unterschenkel lateral	0,96	Ø	0,50	Ø
3. Unterschenkel medial	0,57	Ø	0,16	Ø

3.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Lediglich bei der Umfangmessung liefert der Seitenvergleich statistisch signifikante Ergebnissse. Unmittelbar nach Gipsabnahme weisen die Umfänge beider Unterschenkel eine statistisch hochsignifikante Differenz von 1,67 cm auf ($p<0,001$). Ferner konnten wir zu diesem Zeitpunkt einen statistisch signifikanten Unterschied ($p<0,01$) zwischen den Oberschenkeln in 20 cm Abstand vom Oberrand der Patella registrieren. Die beiden anderen Meßwerte (Sprunggelenk, Oberschenkel 10 cm) waren weder bei der ersten, noch bei der zweiten Untersuchung signifikant verschieden.

Die Differenz beider Oberschenkel erklären wir uns mit der durch den Unterschenkelgips eingeschränkten Mobilität des ganzen Beins. Die daraus resultierende , geringfügige Atrophie wird im Bereich der größeren Muskelmasse auffällig, während sie unmittelbar über der Kniescheibe, wo der Anteil der Muskulatur gering ist, keine Auswirkungen hat.

Bei der zweiten Untersuchung konnten wir für Oberschenkel 20 cm und Unterschenkel nur noch schwach signifikante ($p<0,05$) Ergebnisse ermitteln. Der immobilisierte Unterschenkel hatte 2/3 des anfänglich gemessenen Unterschieds wieder aufgeholt. Die mittlere Differenz betrug nur noch 0,57 cm.

Der am Unterschenkel gemessene Umfang läßt sich mit der computertomographisch ermittelten Gesamtfläche der unteren Extremität vergleichen. Dabei muß man jedoch berücksichtigen, daß die CT der Schwerpunkt unserer Untersuchung <u>während</u> der Gipsbehandlung war, dagegen setzten wir die anderen Methoden erst <u>nach</u> Gipsentfernung ein, da sie einen direkten Zugang zu den Extremitäten erfordern. Doch zu einem Zeitpunkt, nämlich kurz vor bzw. unmittelbar nach Gipsabnahme, kann man die Ergebnisse aller Untersuchungen vergleichen. Wir ermittelten mit der CT einen hochsignifikanten Unterschied bei der Muskulatur, aber

keine signifikante Differenz im Unterhautfettgewebe beider Beine. Diese Ergebnisse werden durch die Umfang- und Hautfaltendickemessungen bestätigt. Dagegen konnten wir die aus den CT-Daten berechnete, prozentual größere Zunahme der Hautfaltendicke am kranken Bein mit dem Skinfold Caliper nicht nachvollziehen. Sicher muß man die Hautfaltendickemessungen, in Anbetracht der kleinen Gruppenzahlen, kritisch bewerten.

3.3. (Ergebnisse) der plethysmographischen Untersuchungen

Wie unter 2.4.2. beschrieben, untersuchten wir 7 unserer 9 Plethysmographie-Patienten zweimal. Dementsprechend fassen wir die Ergebnisse in zwei Gruppen zusammen. Gruppe 1 umfaßt die Daten der Plethysmographien, die wir unmittelbar nach Gipsabnahme schrieben. In Gruppe 2 ziehen wir die Werte zusammen, die wir bei der zweiten Untersuchung (2 bis 7 Wochen nach Gipsentfernung) ermittelten.

3.3.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

Für Gruppe 1 und 2 berechneten wir die Mittelwerte und Standardabweichungen beider Beine bei den verschiedenen plethysmographischen Untersuchungen. Sie sind nachfolgend tabellarisch aufgelistet. Als Peak Flow bezeichnen wir den maximalen Blutfluß während der reaktiven Hyperämie. Bei den meisten Patienten ist er mit dem Sofortwert identisch, bei einigen trat er jedoch erst nach 15 sec auf, weshalb eine gesonderte Berechnung nötig war. Die Werte aller Patienten im einzelnen finden sich im Anhang.

3.3.1.1. Tabelle

Die Ergebnisse sind in folgenden Einheiten angegeben:

Ruhedurchblutung
Reaktive Hyperämie
Peak Flow
Venöser Ausstrom
} in $\frac{\text{ml Blut}}{\text{100 ml Gewebe x min}}$

Venenkapazität in $\frac{\text{ml Blut}}{\text{100 ml Gewebe}}$

Halbwertszeit des venösen Ausstroms in sec

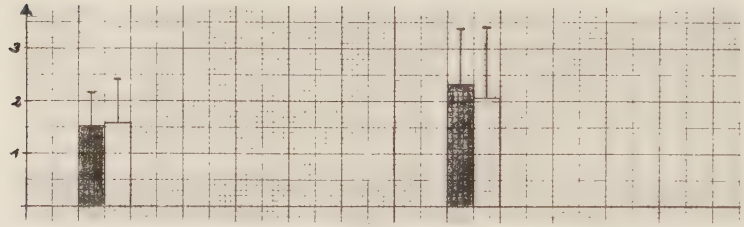
Legende: krank = immobilisiertes Bein
gesund = nicht immobilisiertes Bein
n = Anzahl der Personen
$\bar{x}$ = Mittelwert
S_{x_i} = Standardabweichung

		Gruppe 1 (n=9)		Gruppe 2 (n=7)	
		krank	gesund	krank	gesund
1. Ruhedurchblutung	$\bar{x}$	1,53	1,59	2,34	2,06
	S_{x_i}	0,65	0,82	1,08	1,29
2. Reaktive Hyperämie					
Sofortwert	$\bar{x}$	11,76	13,82	13,22	12,84
	S_{x_i}	5,89	6,97	5,07	5,69

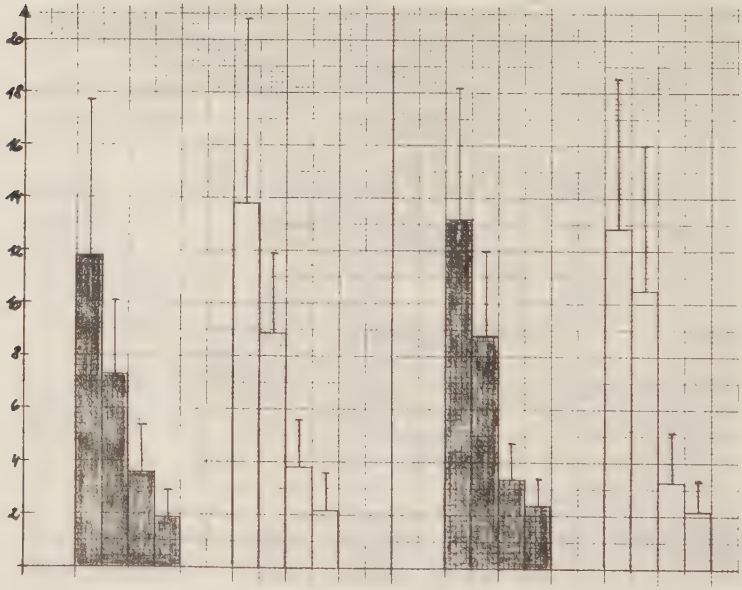
		Gruppe 1 (n=9)		Gruppe 2 (n=7)	
		krank	/ gesund	krank	/ gesund
15 sec - Wert	$\bar{x}$	7,34	8,88	8,83	10,50
	S_{x_i}	2,79	2,93	3,23	5,49
30 sec - Wert	$\bar{x}$	3,58	3,75	3,35	3,32
	S_{x_i}	1,98	1,80	1,31	1,60
1 min - Wert	$\bar{x}$	1,94	2,15	2,41	2,08
	S_{x_i}	0,97	1,40	0,99	1,11
3. Peak Flow	$\bar{x}$	12,76	15,31	14,52	15,67
	S_{x_i}	4,88	5,64	3,90	4,51
4. Venenkapazität					
1 min - Wert	$\bar{x}$	0,93	0,94	1,27	1,17
	S_{x_i}	0,42	0,63	0,39	0,43
2 min - Wert	$\bar{x}$	1,35	1,46	1,83	1,84
	S_{x_i}	0,49	0,73	0,45	0,56
3 min - Wert	$\bar{x}$	1,67	1,76	2,14	2,27
	S_{x_i}	0,46	0,81	0,72	0,59
4 min - Wert	$\bar{x}$	1,85	2,00	2,33	2,51
	S_{x_i}	0,47	0,82	0,59	0,75
5. Venöser Ausstrom	$\bar{x}$	20,32	22,73	25,13	26,77
	S_{x_i}	5,32	4,53	5,20	6,96
6. Halbwertszeit des					
venösen Ausstroms	$\bar{x}$	4,1	3,8	4,1	4,0
	S_{x_i}	0,51	1,01	1,46	1,25

Abb. 13.1 - 6.: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der plethysmographischen Untersuchungen

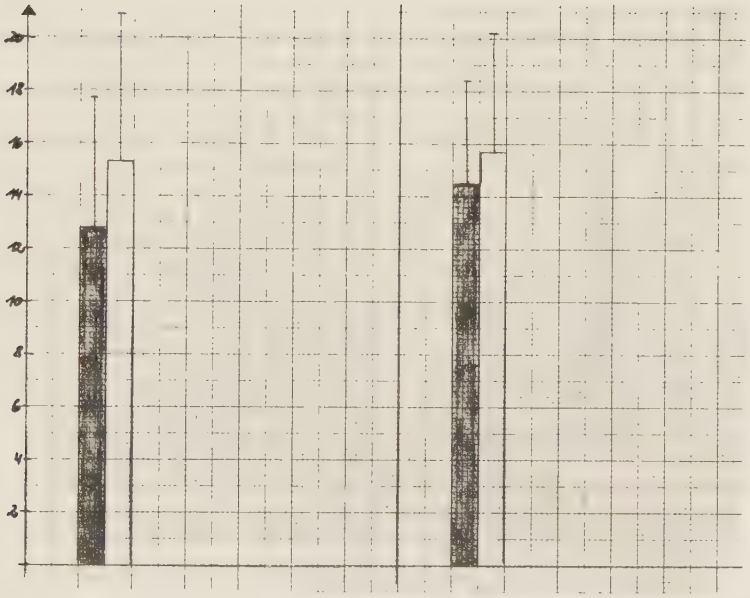
Die Werte der Gruppe 1 sind jeweils links aufgetragen, die Werte der Gruppe 2 rechts.



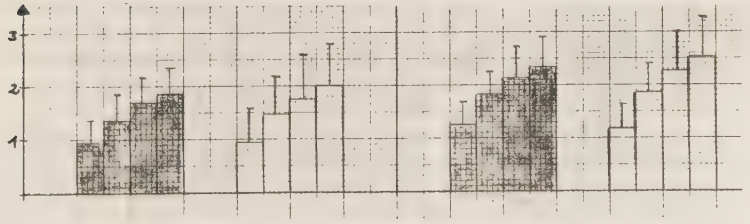
13.1. Ruhedurchblutung



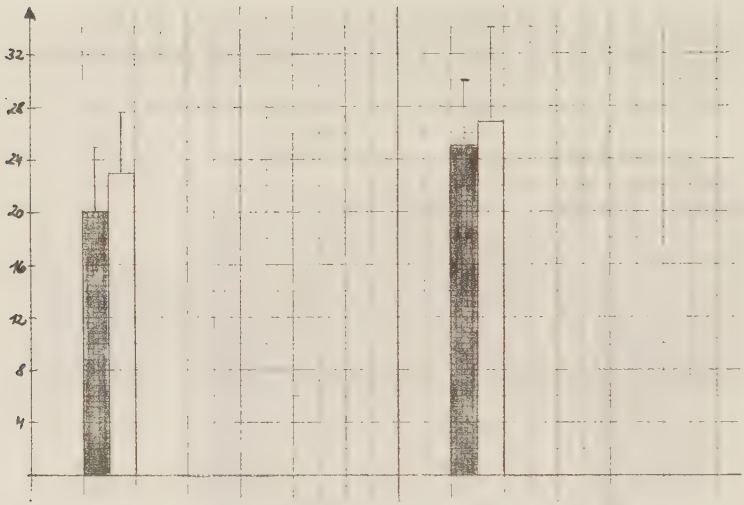
13.2. Reaktive Hyperämie



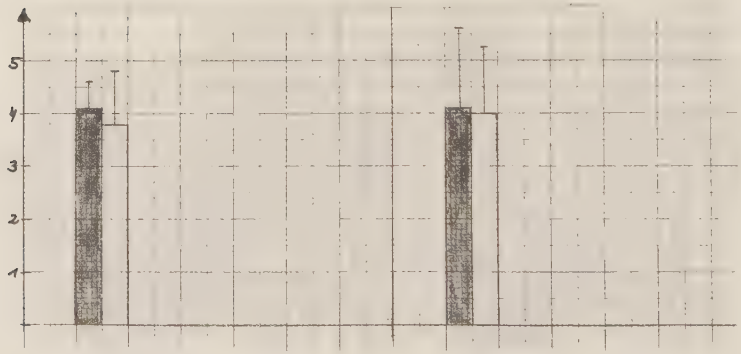
13.3. Peak Flow



13.4. Venenkapazität



13.5. Venöser Ausstrom



13.6. Halbwertszeit des venösen Ausstroms

3.3.1.2. Graphische Darstellung

Die oben aufgeführten Mittelwerte und Standardabweichungen werden in Form von Histogrammen (siehe Abb. 13) dargestellt. Dabei ist zu beachten, daß die Ordinaten unterschiedlich skaliert sind. Das immobilisierte Bein ist wieder schwarz, das gesunde Bein hell gezeichnet.

3.3.2. Statistische Auswertung

Wir setzten auch hier den Student-t-Test für verbundene Stichproben ein. Damit prüften wir, in beiden Gruppen für gesundes und krankes Bein, die Mittelwerte der Ruhedurchblutung, des Peak Flows, der Venenkapazität nach vier Minuten und des venösen Ausstroms. Es stellte sich heraus, daß zwischen beiden Beinen kein statistisch signifikanter Unterschied in den genannten Durchblutungsgrößen besteht, und zwar weder in einem längeren Zeitabstand, noch unmittelbar nach Gipsentfernung.

3.3.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Unsere Werte liegen alle im Bereich der in der Literatur (5,16,26,54, 66) genannten Normalwerte. Da dies für die Ergebnisse beider Gruppen zutrifft, verzichten wir auf eine Beurteilung des zeitlichen Verlaufs, zumal sich etliche Größen, auf die wir keinen Einfluß hatten, wie Zimmertemperatur (Untersuchungsraum nicht klimatisiert), Körpertemperatur, Blutdruck, Mobilität des Patienten etc., auf die Durchblutung auswirkten. Im Gegensatz zum Gips werden diese Einflüsse in gleicher Weise an beiden Beinen wirksam, so daß der Seitenvergleich geeigneter ist, die spezifischen Auswirkungen der Immobilisation zu erfassen. Jedoch deckte auch er keine signifikanten Unterschiede zwischen gegipstem und gesundem Bein auf. Diese Feststellung gilt für alle durchgeführ-

ten Untersuchungen und beide Gruppen. Zusammengefaßt ergibt die Plethysmographie, daß ein Unterschenkelgips weder am arteriellen, noch am venösen Gefäßsystem des immobilisierten Beins zu auffälligen Veränderungen führt.

3.4. (Ergebnisse) der Hauttemperaturmessungen

Es handelt sich um die Ergebnisse der unter 2.5. beschriebenen Untersuchungen. Für die Berechnungen und Tabellen gelten die Ausführungen unter 3.2.. Zur Orientierung über die in den Tabellen genannten Meßpunkte, bitten wir die Methodikbeschreibung unter 2.5. zu beachten.

Einheit: °C

Für unsere Untersuchungen stand kein klimatisierter Raum zur Verfügung, weshalb die gleichzeitig gemessene Zimmertemperatur im Bereich von 3 °C schwankt. Dies ist jedoch unbedeutend, da wir die Ergebnisse nur im Seitenvergleich bewerten. Raum- und Stirntemperaturen können dem Anhang entnommen werden.

3.4.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

		Gruppe 1 n = 9(6) krank	Gruppe 1 n = 9(6) gesund	Gruppe 2 n = 7(6) krank	Gruppe 2 n = 7(6) gesund
1. Oberschenkel 20	$\bar{x}$	31,7	31,6	30,3	30,3
	S_{x_i}	1,6	1,3	0,7	0,9
2. Oberschenkel 10	$\bar{x}$	31,1	31,1	30,0	29,9
	S_{x_i}	1,8	1,6	0,7	1,3
3. Patella	$\bar{x}$	28,9	29,1	28,5	28,1
	S_{x_i}	2,1	1,8	1,3	0,6
4. Tibia medial	$\bar{x}$	31,1	31,5	31,3	31,5
	S_{x_i}	1,9	1,3	1,1	1,2
5. Tibia distal	$\bar{x}$	30,1	30,1	29,8	30,0
	S_{x_i}	2,1	2,0	1,5	1,6
6. Malleolus lateralis	$\bar{x}$	29,4	28,2	28,8	28,3
	S_{x_i}	3,0	2,8	2,4	2,2
7. Malleolus medialis	$\bar{x}$	29,7	30,0	29,5	29,5
	S_{x_i}	3,1	2,8	2,3	2,1
8. Vorfuß	$\bar{x}$	26,3	27,3	27,4	27,4
	S_{x_i}	3,3	2,9	3,2	3,2

Die bei n in Klammern angegebenen Zahlen beziehen sich auf die Vorfüße.

3.4.2. Statistische Auswertung

	Gruppe 1 $\frac{\Sigma d}{n}$ / p	Gruppe 2 $\frac{\Sigma d}{n}$ / p
1. Oberschenkel 20	0,08 Ø	0,00 Ø
2. Oberschenkel 10	0,00 Ø	0,14 Ø
3. Patella	0,18 Ø	0,36 Ø
4. Tibia medial	0,31 Ø	0,20 Ø
5. Tibia distal	0,00 Ø	0,19 Ø
6. Malleolus lateralis	0,59 Ø	0,51 Ø
7. Malleolus medialis	0,26 Ø	0,00 Ø
8. Vorfuß	0,98 Ø	0,00 Ø

3.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ein wesentlicher Faktor für die Hauttemperatur ist die Durchblutung. Während wir mit der Plethysmographie vorrangig die Durchblutung der Muskulatur registrierten, ist die Infrarotmessung ein Maß für die Hautdurchblutung. Trotzdem erscheint ein Vergleich der erhobenen Daten gerechtfertigt. Die Hauttemperatur läßt sich am ehesten zur plethysmographisch gemessenen Ruhedurchblutung in Beziehung setzen. Die Ergebnisse stimmen auch hier überein: weder für die Plethysmographie, noch für die Hauttemperatur, ergab der Seitenvergleich einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen beiden Beinen.

3.5. (Ergebnisse) der Nachuntersuchung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der 20 Patienten dargestellt, deren Gipsbehandlung zum Zeitpunkt der Untersuchung mehr als 6 Monate zurücklag. Teilnehmer und Ablauf der Nachuntersuchung wurden unter 2.6.1. bis 2.6.4. ausführlich beschrieben. Neben einem Fragebogen setzten wir auch hier die Plethysmographie, Hauttemperatur-, Umfang- und Hautfaltendickemessungen ein, um die Auswirkungen der Immobilisation zu erfassen.
Zur Auswertung der Untersuchungsdaten ziehen wir jeweils die Personen mit Oberschenkelgips und mit Unterschenkelgips zu einer Gruppe zusammen.

3.5.1. Fragebogen

In den Fragebögen wurden die subjektiven Beschwerden der Patienten notiert, und die von den Untersuchern vorgenommene Beurteilung der Beine, nach Umfang, Farbe und Temperatur, festgehalten. Es stellte sich heraus, daß ein halbes Jahr nach einer Unterschenkelgipsbehandlung keine äußeren Veränderungen, abgesehen von einer Schwellung im Operationsgebiet, mehr sichtbar sind. Auch subjektiv sind die Patienten beschwerdefrei. Lediglich eine Patientin klagte über Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk. Bei ihr waren allerdings, in Folge eines Autounfalls, bereits mehrere Immobilisationsperioden vorausgegangen.
Was am Unterschenkel eher die Ausnahme ist, gehört am Oberschenkel zur Regel. Alle 14 Patienten hatten noch Beschwerden. Eingeschränkte Beweglichkeit im Kniegelenk, Schmerzen und Schwäche wurden am häufigsten genannt. Über Kraftlosigkeit klagten die Patienten, deren Gipsbehandlung nur wenig mehr als sechs Monate zurücklag und diejenigen, deren Bein auf Grund veralteter Verletzungen schon vor der Operation (nach eigenen Aussagen) "dünner" gewesen war. Je länger die Gipsbehandlung zurückliegt, bei unserer Untersuchung waren es längstens

1 1/2 Jahre, desto stärker treten anstelle der Muskelschwäche die Gelenkbeschwerden, in Form von Bewegungseinschränkung und Schmerzen, hervor. Bei unserer Beurteilung waren sämtliche Beine, was Farbe und Temperatur betrifft, unauffällig. Bei den Personen, die über Kraftlosigkeit berichteten, fanden wir das immobilisierte Bein dünner als das gesunde. Bei den Übrigen konnten wir im Seitenvergleich auch für den Umfang keinen Unterschied ausmachen.

Im Rahmen der Nachuntersuchung erfragten wir von den berufstätigen Patienten die Arbeitsunfähigkeitsdauer. Sie ist ein Anhaltspunkt bei der Beurteilung des zeitlichen Verlaufs der Immobilisationsfolgen. Für die Oberschenkelgipse liegt sie zwischen 3 und 6 Monaten, bei den Unterschenkelgipsen zwischen 8 und 12 Wochen.

3.5.2. Plethysmographie

3.5.2.1. Mittelwerte und Standardabweichungen

Einheiten und Legende siehe 3.3.1.1.

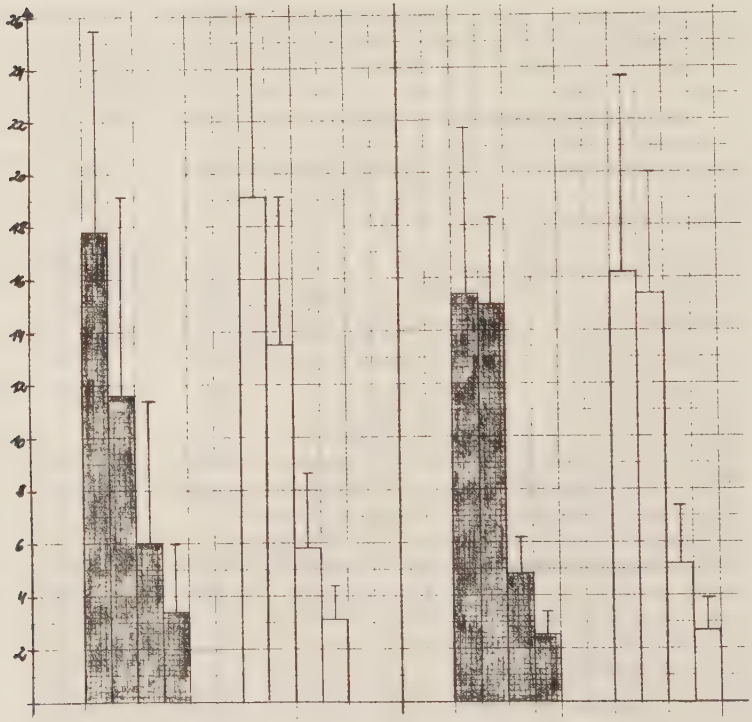
Tabelle

		Oberschenkelgips n = 14 krank / gesund		Unterschenkelgips n = 6 krank / gesund	
1. Ruhedurchblutung	$\bar{x}$	2,64	2,29	2,52	2,46
	S_{x_i}	1,95	0,74	0,96	1.23

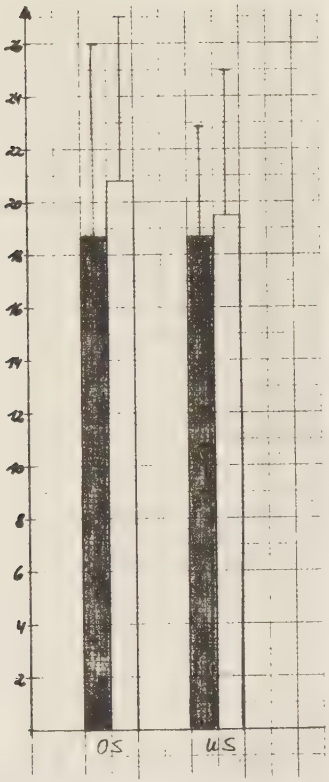
		Oberschenkelgips krank	Oberschenkelgips gesund	Unterschenkelgips krank	Unterschenkelgips gesund
2. Reaktive Hyperämie					
Sofortwert	$\bar{x}$	17,79	19,05	15,38	16,17
	S_{x_i}	7,70	7,03	6,42	7,48
15 sec-Wert	$\bar{x}$	11,57	13,49	14,97	15,38
	S_{x_i}	7,47	5,65	3,34	4,58
30 sec-Wert	$\bar{x}$	6,00	5,79	4,41	5,12
	S_{x_i}	5,38	2,85	1,79	2,29
1 min-Wert	$\bar{x}$	3,44	3,11	2,50	2,73
	S_{x_i}	2,62	1,31	0,90	1,17
3. Peak Flow	$\bar{x}$	18,71	20,82	18,65	19,49
	S_{x_i}	7,35	5,71	4,25	6,01
4. Venenkapazität					
1 min-Wert	$\bar{x}$	1,63	1,49	1,52	1,57
	S_{x_i}	0,93	0,45	0,65	0,78
2 min-Wert	$\bar{x}$	2,34	2,38	2,45	2,49
	S_{x_i}	1,06	0,64	0,76	1,04
3 min-Wert	$\bar{x}$	2,73	3,00	3,02	3,01
	S_{x_i}	1,16	0,84	0,78	1,11
4 min-Wert	$\bar{x}$	2,90	3,31	3,41	3,36
	S_{x_i}	1,24	0,98	0,82	1,15
5. Venöser Ausstrom	$\bar{x}$	34,63	35,20	38,00	35,17
	S_{x_i}	13,90	11,59	7,81	12,50
6. Halbwertszeit des venösen Ausstroms	$\bar{x}$	3,0	3,6	3,4	3,45
	S_{x_i}	0,61	0,78	0,62	0,39

Die tabellarisch aufgeführten Daten werden wiederum in Form von Histogrammen (siehe Abb. 14) dargestellt.

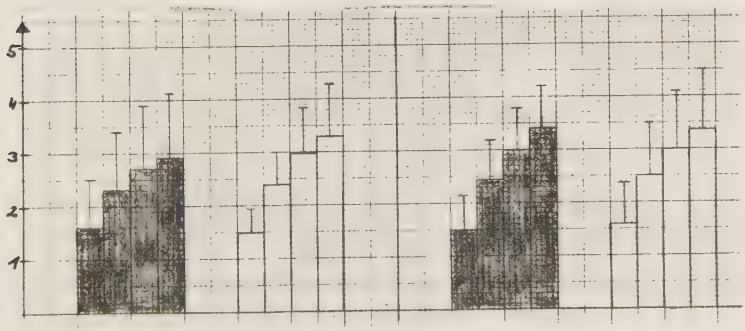
14.1. Ruhedurchblutung



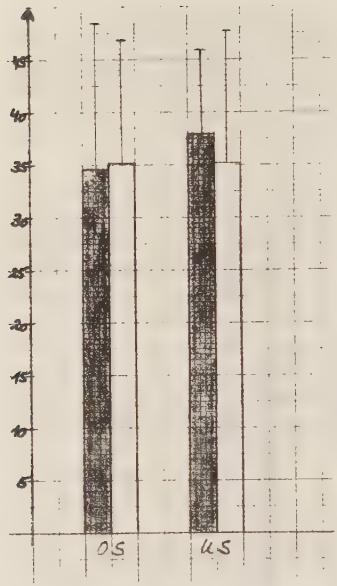
14.2. Reaktive Hyperämie



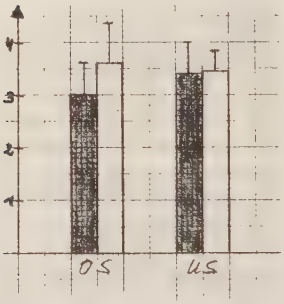
14.3. Peak Flow



14.4. Venenkapazität



14.5. Venöser Ausstrom



14.6. Halbwertszeit des venösen Ausstroms

Abb. 14.1. - 6.: Graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der plethysmographischen Untersuchungen (Nachuntersuchung)

Die Werte der Oberschenkelgipspatienten sind links, die der Unterschenkelgipspatienten rechts aufgetragen.

3.5.2.2. Statistische Auswertung

Mit dem t-Test für verbundene Stichproben prüften wir die Mittelwerte der Ruhedurchblutung, des Peak Flows, der Venenkapazität nach vier Minuten und des venösen Ausstroms. Bei den Patienten mit Unterschenkelgips ergaben sich weder für das arterielle, noch für das venöse Gefäßsystem statistisch signifikante Unterschiede zwischen beiden Beinen. Für die Gruppe nach Oberschenkelimmobilisation ermittelten wir bei der Venenkapazität eine schwach signifikante Differenz ($p<0,05$, zweiseitige Fragestellung). Die Venenkapazität war nach vier Minuten am gesunden Bein um durchschnittlich 0,42 ml Blut/100 ml Gewebe größer, als auf der kontralateralen Seite. Für die anderen Untersuchungen ergab der Seitenvergleich der Mittelwerte auch beim Oberschenkelgips keine statistisch signifikanten Ergebnisse.

3.5.2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Da alle plethysmographisch ermittelten Ergebnisse im Bereich der in der Literatur (5,16,26,54,66) genannten Normalwerte liegen, können wir zusammenfassend feststellen, daß 1/2 Jahr nach einer Gipsimmobilisation der unteren Extremität keine pathologischen Veränderungen am Gefäßsystem nachweisbar sind. Auf Grund unserer anderen Untersuchungen wissen wir, daß die Durchblutung auch unmittelbar nach Gipsabnahme nicht krankhaft verändert ist. Jedoch ergab der Seitenvergleich nach einer Oberschenkelgipsbehandlung für das venöse System signifikante Unterschiede (35). Die Venenkapazität (4 min-Wert) ist 6 Monate nach Ruhigstellung des Oberschenkels am gesunden Bein immernoch schwach signifikant größer, als am ehedem immobilisierten Bein. Dagegen konnten wir am Unterschenkel weder unmittelbar nach Gipsentfernung, noch zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung, signifikante Seitendifferenzen verzeichnen.

3.5.3. Hauttemperaturmessungen

Es gelten die Ausführungen unter 3.2. und 3.4..

Einheit: °C

Die Raumtemperatur lag zwischen 20,1 und 23,8°C (siehe auch 3.4.).

Bei einem der Unterschenkel-Patienten konnten wir keine Hauttemperaturmessungen durchführen, da das Gerät defekt war.

Mittelwerte und Standardabweichungen

		Oberschenkelgips n = 14(11) krank / gesund		Unterschenkelgips n = 5(5) krank / gesund	
1. Oberschenkel 20	$\bar{x}$	30,3	30,6	30,8	30,2
	S_{x_i}	0,7	0,7	0,9	0,7
2. Oberschenkel 10	$\bar{x}$	29,9	30,4	29,9	29,8
	S_{x_i}	0,7	0,8	0,7	0,6
3. Patella	$\bar{x}$	29,2	28,8	---	---
	S_{x_i}	1,2	1,2	---	---
4. Tibia medial	$\bar{x}$	31,2	31,3	31,4	31,3
	S_{x_i}	0,8	0,7	0,6	0,6
5. Tibia distal	$\bar{x}$	30,3	30,4	29,9	29,9
	S_{x_i}	1,0	0,9	1,3	0,6

		Oberschenkelgips krank	Oberschenkelgips gesund	Unterschenkelgips krank	Unterschenkelgips gesund
6. Malleolus lateralis	$\bar{x}$	---	---	28,3	28,2
	s_{x_1}	---	---	0,6	0,7
7. Malleolus medialis	$\bar{x}$	---	---	29,3	29,5
	s_{x_1}	---	---	0,7	0,6
8. Vorfuß	$\bar{x}$	28,6	28,8	27,1	26,8
	s_{x_1}	1,3	1,5	1,1	1,2

Über den Gelenken (Patella, Malleoli lateralis et medialis) bestimmten wir die Hauttemperatur nur, wenn die Patienten in dieser Gegend operiert worden waren. So gelten die bei n in Klammern angeführten Zahlen.

Statistische Auswertung

	Oberschenkelgips $\frac{\Sigma d}{n}$	Oberschenkelgips p	Unterschenkelgips $\frac{\Sigma d}{n}$	Unterschenkelgips p
1. Oberschenkel 20	0,24	<0,05	0,62	Ø
2. Oberschenkel 10	0,55	<0,05	0,04	Ø
3. Patella	0,40	Ø	----	----
4. Tibia medial	0,13	Ø	0,02	Ø
5. Tibia distal	0,15	Ø	0,04	Ø
6. Malleolus lateralis	----	----	0,02	Ø
7. Malleolus medialis	----	----	0,20	Ø
8. Vorfuß	0,20	Ø	0,26	Ø

Zusammenfassung der Ergebnisse

Für die Hauttemperaturmessungen ergaben sich nur am Oberschenkel 10 und 20 cm proximal der Kniescheibe schwach signifikante Unterschiede ($p<0,05$). Das kranke Bein war um 0,55 bzw. 0,24°C kälter als das gesunde. Die mit der Plethysmographie bestimmte Ruhedurchblutung bietet uns keine Erklärung, zumindest konnten wir für sie keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Beinen nachweisen. Es bleibt dahingestellt, ob die am kranken Bein verminderte Hautdurchblutung eine Folge der Immobilisation oder der Operation ist. Für letzteres spräche, daß die Differenz in 10 cm Abstand von der Patella, also näher am OP-Gebiet, größer und stärker signifikant ist, als an dem weiter entfernten Meßpunkt, 20 cm proximal der Kniescheibe.

3.5.4. Umfang- und Hautfaltendickemessungen

Es gelten die Ausführungen unter 3.2..

3.5.4.1. Umfang

Einheit. cm

Mittelwerte und Standardabweichungen

		Oberschenkelgips n = 14(11) krank / gesund		Unterschenkelgips n = 6(5) krank / gesund	
1. Oberschenkel 20	$\bar{x}$	53,5	55,5	53,4	53,3
	S_{x_i}	5,5	4,0	2,5	3,0
2. Oberschenkel 10	$\bar{x}$	45,4	47,3	45,1	45,0
	S_{x_i}	3,6	3,1	2,6	2,6
3. Unterschenkel 22	$\bar{x}$	34,9	35,1	35,1	35,1
	S_{x_i}	3,4	3,8	2,2	2,3
4. erkranktes Gelenk	$\bar{x}$	39,3	38,3	30,7	29,4
	S_{x_i}	3,2	2,4	1,3	1,5

Bei den Unterschenkel-Patienten wurde das Sprunggelenk distal der Malleolen, bei den Oberschenkel-Patienten der Umfang über dem medialen Kniegelenkspalt gemessen. Da vier Patienten nicht im Bereich der Gelenke operiert worden waren (Hallux rigidus, zweimal Achillessehnenruptur, fehlverheilte Unterschenkelfraktur), verzichteten wir bei ihnen auf den vierten Meßpunkt. Für die erkrankten Gelenke gelten deshalb die bei n in Klammern angegebenen Gruppenzahlen.

Statistische Auswertung

	Oberschenkelgips $\frac{\Sigma d}{n}$ / p		Unterschenkelgips $\frac{\Sigma d}{n}$ / p	
1. Oberschenkel 20	2,00	<0,01	0,08	Ø
2. Oberschenkel 10	1,89	<0,05	0,12	Ø
3. Unterschenkel 22	0,21	Ø	0,00	Ø
4. erkranktes Gelenk	1,05	<0,05	1,30	Ø

3.5.4.2. Hautfaltendicke

Einheit: mm

Bei einigen Patienten war diese Messung wegen ihres straffen Unterhautfettgewebes unmöglich. Auf Grund der unterschiedlichen Gruppenzahlen wird n für jeden Meßpunkt getrennt angegeben.

Mittelwerte und Standardabweichungen

		Oberschenkelgips n krank	/ gesund	Unterschenkelgips n krank	/ gesund
1. Oberschenkel ventral	$\bar{x}$	8 12,8	11,0	3 14,4	14,3
	S_{x_i}	4,3	3,6	7,3	6,3
2. Unterschenkel lateral	$\bar{x}$	8 9,7	9,3	4 8,8	8,4
	S_{x_i}	3,9	3,5	3,1	3,0
3. Unterschenkel medial	$\bar{x}$	10 10,7	8,8	4 8,3	8,8
	S_{x_i}	3,2	2,7	2,9	3,2

Statistische Auswertung

	Oberschenkelgips		Unterschenkelgips	
	$\frac{\Sigma d}{n}$	/ p	$\frac{\Sigma d}{n}$	/ p
1. Oberschenkel ventral	1,80	Ø	0,07	Ø
2. Unterschenkel lateral	0,41	Ø	0,38	Ø
3. Unterschenkel medial	1,94	<0,01	0,55	Ø

3.5.4.3. Zusammenfassung der Ergebnisse

Ein halbes Jahr nach einer Gipsimmobilisation des Unterschenkels lassen sich mit den genannten Untersuchungsmethoden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen beiden Beinen mehr feststellen.

Dagegen liefert der Seitenvergleich 6 Monate nach Abnahme eines Oberschenkelgipses noch auffällige Differenzen. Der gesunde Oberschenkel ist in 10 und 20 cm Abstand vom Oberrand der Patella mit 1,89 cm ($p<0,05$) bzw. 2,00 cm ($p<0,01$) signifikant dicker als auf der kontralateralen, ehedem eingegipsten Seite. Der Umfang des Kniegelenks ist mit 1,05 cm auf der operierten Seite schwach signifikant ($p<0,05$) größer als am gesunden Bein, was sicher auf die, durch den chirurgischen Eingriff, verursachte Schwellung zurückzuführen und folglich OP-Folge ist. Dagegen handelt es sich bei den Differenzen am Oberschenkel um Immobilisationsfolgen. Da die Hautfaltendickemessung am Oberschenkel keine signifikanten Ergebnisse zeigt, muß die Differenz durch die unterschiedliche Muskelmasse beider Beine bedingt sein. Man sieht, daß die durch die Immobilisation verursachte Atrophie der Oberschenkelmuskulatur auch 1/2 Jahr nach Gipsabnahme noch statistisch signifikant ist.

Mit dem Skinfold Caliper ermittelten wir nur für den medialen Unterschenkel ein signifikantes Ergebnis. Die Hautfalte war um 1,94 mm am kranken Bein signifikant ($p<0,01$) dicker als auf der Gegenseite. Berücksichtigt man dieses Resultat, so liegt möglicherweise auch am Unterschenkel, trotz der fehlenden Signifikanz bei der Umfangmessung, eine gegenüber der gesunden Seite verminderte Muskelmasse vor.

Es zeigt sich, daß ein Oberschenkelgips sechs Monate nach seiner Abnahme noch Auswirkungen, vor allem auf die Muskulatur hat, wogegen sich bei einem Unterschenkelgips nach diesem Zeitraum keinerlei Veränderungen mehr nachweisen lassen.

4. Diskussion

Unter Berücksichtigung der Literatur und unserer eigenen Ergebnisse soll nun diskutiert werden, wie geeignet die oben beschriebenen Methoden sind, die Folgen und den Verlauf der Ruhigstellung, an verschiedenen Geweben und am Gefäßsystem, zu beurteilen.

4.1. Computertomographie (CT)

Die Computertomographie (1,13,41,80) konnte sich in weiten medizinischen Bereichen, wie der Tumordiagnostik oder der Diagnostik intrakranieller Läsionen, als klinische Routineuntersuchung durchsetzen, da sie die Abgrenzung von Organ- und Weichteilstrukturen mit geringen Dichteunterschieden ermöglicht. Aus dem gleichen Grund eignet sie sich auch zur Atrophiebeurteilung, bei der es vorallem auf die getrennte Beobachtung der einzelnen Weichteilkomponenten, mit ihrer zum Teil gegensätzlichen Entwicklung ankommt. Als Standardmethode, zur Überwachung eines immobilisationsbedingten Atrophieverlaufs, ist die CT jedoch nicht indiziert, da die Untersuchung zu teuer, außerdem mit einer, wenn auch geringen, so doch vermeidbaren Strahlenbelastung verbunden ist, und zudem ein CT-Bild nur über eine äußerst aufwendige Auswertung zu verwendbaren Ergebnissen führt.

Die CT verfügt aber über eine Reihe von Vorzügen, die sie als Methode erster Wahl, zur wissenschaftlichen Erforschung der Muskelatrophie, erscheinen lassen. Die Patienten tolerieren die Untersuchung gut, da sie schmerzlos und nicht invasiv ist. Für den Untersucher ist von Interesse, daß diese radiologische Technik während der gesamten Dauer der Gipsbehandlung angewendet werden kann, und daß sie, in einem Arbeitsgang, Daten über Muskel-, Binde- und Fettgewebe liefert. Auf diese Weise erhält man exakte Ergebnisse, über Folgen und Verlauf einer Extremitätenruhigstellung. Trotzdem ist die CT bisher im Bereich der

Muskelatrophie eine ungebräuchliche Methode. In der Literatur finden sich nur wenige Veröffentlichungen (14,15,31,33,46,57,63) zu diesem Thema.

CT-Bilder lassen sich praktisch von jeder Körperregion anfertigen. Zur Abschätzung der Immobilisationsatrophie bieten sich die Extremitäten an. An den Armen treten, auf Grund des geringen Muskelmantels, häufig Artefakte auf, so daß die Bilder schlecht auszuwerten sind (15). Alle uns bekannten Studien wurden daher am Bein durchgeführt, wobei sich diese Arbeit auf den Unterschenkel konzentriert.

Aus einem CT-Querschnitt dieser Region lassen sich mit Hilfe eines Planimeters unschwer die Gesamtfläche und die Gesamtmuskelfläche bestimmen. Einige Schwierigkeiten kann es dagegen bereiten, einzelne Muskelgruppen oder gar Muskeln gegeneinander abzugrenzen. Hierbei können anatomische (75) oder die inzwischen verfügbaren computertomographischen Atlanten (27) hilfreich sein. Im Gegensatz zum Oberschenkel (35) mußten wir uns am Unterschenkel auf die Planimetrierung von Muskelgruppen beschränken, und auch dabei fiel uns die eindeutige Zuordnung manchmal schwer. Je mehr intermuskuläres Binde- und Fettgewebe vorhanden ist, umso leichter lassen sich einzelne Muskeln differenzieren. Deshalb fällt die Abgrenzung am Oberschenkel leichter als am Unterschenkel (63), und gelingt bei alten Menschen besser als bei jungen (15).

Außer Flächen kann man mit der CT auch die Dichte der Weichteilstrukturen ermitteln. Bulcke (15) verweist auf den Informationsgewinn durch zusätzliche Dichtemessungen. Sie decken Veränderungen auf, die die Atrophie verschleiern, wie es beispielsweise durch Fetteinlagerung bei den pseudohypertrophen Muskelerkrankungen (14) der Fall ist. Folgt man Patel (64), so kommt es bei der reinen Inaktivitätsatrophie zu keiner intramuskulären Einlagerung von Binde- und Fettgewebe. Wir verzichteten

in unserer Untersuchung auf Dichtemessungen, und beschränkten uns darauf, die Flächenmaße planimetrisch exakt zu erfassen. Auf diese Weise kann man mit der CT grobmorphologische Veränderungen, also Zu-/Abnahme der Muskulatur, erkennen und den zeitlichen Ablauf der Atrophie verfolgen.

Kenntnisse über atrophiebedingte Veränderungen an den Feinstrukturen eines Muskels lassen sich nur mittels Muskelbiopsie gewinnen. Es existieren zahlreiche Berichte in der Literatur, wie teils an Tieren (17, 47,59,78,85), teils am Menschen (24,31,32,33,74,77) versucht wurde, die Ursache der immobilisationsbedingten Muskelatrophie auf mikroskopischer Ebene zu klären. Übereinstimmend führen die Autoren die Muskelatrophie weitgehend auf eine Flächenabnahme der Typ-I-Fasern zurück. Es atrophieren also vorrangig die langsamen, oxidativen, roten Muskeln, die die tonische Haltemuskulatur bilden. Edgerton (23) untersuchte die Faserzusammensetzung der menschlichen Beinmuskulatur. Er konnte die Ergebnisse von Edström (25) bestätigen, daß bestimmte Muskeln, wie der M. soleus am Unterschenkel, einen besonders hohen Gehalt an Typ-I-Fasern aufweisen. Außerdem stellte er fest, daß diese Muskeln innerhalb einer Muskelgruppe knochennah liegen. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse sind auch mit der CT indirekte Aussagen über die Mikrostrukturen möglich, beispielsweise durch Abgrenzung eines inneren und äußeren Muskelrings auf dem Querschnittsbild und deren getrennter Auswertung, oder durch Korrelation der Atrophierate eines Muskels mit seinem bekannten Fasergehalt.

Neben der Bewertung der muskulären Veränderungen ermöglicht die CT gleichzeitig die Abgrenzung und Beobachtung des Binde- und Fettgewebes. Während am Oberschenkel reichlich intermuskuläres Bindegewebe vorhanden ist, sind am Unterschenkel die Muskelgruppen so dicht gepackt, daß wir nur die Fläche des Subkutangewebes berechnen konnten. Kuhnke (57) be-

zeichnet diesen Bezirk als "präfasziales Hautrohr" und grenzt ihn, zur Bestimmung des Lymphödems, eigens mit der CT ab. Andere Autoren, wie Häggmark (31,33) und Ingemann-Hansen (46), werten ebenso wie wir auf den CT-Schnitten sowohl das Muskel-, als auch das Fettgewebe planimetrisch aus.

Das Fehlen eines CT-Standardprogramms zur Atrophiebeurteilung erschwert den Vergleich eigener Ergebnisse mit Daten aus der Literatur. Häggmark (31), der wie wir Patienten mit Unterschenkelgips untersuchte, ermittelte eine 11%ige Abnahme der Gesamtfläche, ein Minus von 23% bei den Unterschenkelmuskeln und eine Zunahme des Unterhautfettgewebes am gegipsten Bein. Wenngleich unsere eigenenErgebnisse weit unter den genannten Zahlen liegen, so stimmen sie in der Tendenz doch überein: prozentual größere Abnahme der Muskelfläche als der Gesamtfläche, Zunahme des Unterhautfettgewebes, die bei uns mit 2% jedoch vernachlässigbar gering war. Möglicherweise erklären sich die Abweichungen der Ergebnisse aus der mangelnden Standardisierung. Es wäre wünschenswert, für weitere Untersuchungen internationale Richtlinien festzulegen. Wichtig wäre vorallem die genaue Definition der Schnittebenen und der planimetrischen Abgrenzung der verschiedenen Gewebe und Muskelgruppen gegeneinander.

In Zukunft wird es darauf ankommen, Atrophieverläufe mit Hilfe der CT an großen Patientenkollektiven zu verfolgen. Die Atrophieformen müssen nach ihrer unterschiedlichen Ätiologie, wie Inaktivität oder neurogenen bzw. myogenen Lähmungen differenziert werden. Bei der Immobilisationsatrophie gilt es die Ursachen der Ruhigstellung, also die Verletzungsart (77) und verschiedene andere Einflußgrößen, wie Schmerz (31,32), Trainingszustand (31,32,62) und Muskelspannung (31,32,67,76, 84) zu berücksichtigen. Es ist bekannt, daß ein Muskel umso stärker atrophiert, je weniger er unter Spannung steht und je trainierter er

vorher war. Ziel ist es, an Hand der genannten Kriterien, unterschiedliche mit der CT erfaßbare Atrophiemuster zu definieren. Sie bilden die Voraussetzung für den gezielten Einsatz atrophieverhindernder und -abschwächender Maßnahmen, wie der Elektrotherapie, isometrischer Übungen etc, deren Wirksamkeit mittels CT überprüft werden kann.
Wie eingangs erwähnt, ist die CT keine Methode zur routinemäßigen Atrophiebeurteilung. Aus diesem Grunde sollte untersucht werden, ob man mit anderen Methoden, wie Umfang- und Hautfaltendickemessungen, Sonographie (41,42) u.a., übereinstimmende Ergebnisse erzielt. Sie könnten dann die CT bei der Atrophiebeurteilung im klinischen Alltag ersetzen. Für wissenschaftliche Fragestellungen kann die CT jedoch sicher empfohlen werden.

4.2. Umfangmessungen

Von allen Methoden, die wir bei unserer Untersuchung eingesetzt haben, ist die Umfangmessung mit dem Zentimetermaßband sicher die klinisch gebräuchlichste. Dies mag daran liegen, daß sie ohne technischen Aufwand und hohe Kosten, überall und von jedermann durchgeführt werden kann. Man geht allgemein davon aus, daß Umfangmessungen (64,68,69,81, 89) geeignet sind, das Ausmaß von Muskelatrophie und -hypertrophie abzuschätzen. Wir gingen in unserer Arbeit der Frage nach, ob diese Annahme richtig ist.
Es gibt nicht wenige wissenschaftliche Studien, bei denen der Umfang von Extremitäten mittels Maßband bestimmt wurde. Der Wert der Methode wird von den einzelnen Autoren verschieden beurteilt. Rosemeyer (70, 71) meint auf Grund von Tierversuchen und elektromyographischen Befunden, die Quadricepsatrophie durch Umfangmessungen richtig abschätzen zu können. Dagegen vertreten Patel (64) und Davies (21) die Ansicht, daß Umfangmessungen zur exakten Beurteilung der Muskelatrophie

ungeeignet sind, da zwischen Umfang und Ausmaß der Atrophie keine Korrelation besteht. Geht man davon aus, daß die Kraft der Muskelfläche proportional (39) ist, so kommt auch Kleditzsch (50) zu diesem Ergebnis, indem er die fehlende Korrelation zwischen Kraftverlust und Umfangabnahme beschreibt. Unsere eigenen Erfahrungen decken sich mit dem Urteil dieser drei Autoren (21,50,64).

Die Umfangmessungen haben mehrere Nachteile. Sie ermöglichen keine getrennte Beurteilung einzelner Muskelgruppen. Auch sollte man daran denken, daß die in Zentimetern angegebenen Absolutwerte von Umfangsänderungen wertlos sind, da der gleichen Umfangsabnahme, in Abhängigkeit von der Ausgangsfläche, ganz unterschiedliche Atrophieraten zugrundeliegen. Das Hauptargument gegen diese Methode ist jedoch, daß die atrophiebedingten Veränderungen des Subkutangewebes unberücksichtigt bleiben, wodurch es zu Fehleinschätzungen der Muskelmasse kommen kann. Die Größe dieses Fehlers wird von der Lokalisation des Gipsverbandes beeinflußt. Bei unseren Patienten mit Unterschenkelgips konnten wir mittels Computertomographie zeigen, daß sich das Subkutangewebe während der Immobilisation praktisch nicht verändert. Dagegen deckten CT-Untersuchungen an Oberschenkelgips-Patienten (35) eine 20%ige Zunahme des Unterhautfettgewebes während der Ruhigstellung auf. In diesem Fall führt die Umfangmessung zu einer deutlichen Unterschätzung der Muskelabnahme. Umgekehrt wird die Muskelzunahme, während der Trainingsperiode, bei Remobilisation zu niedrig eingeschätzt, da sich das subkutane Fettgewebe gleichzeitig zurückbildet. (Diese Veränderungen des Subkutangewebes können bis jetzt nur quantitativ beschrieben werden, da die qualitativen Ursachen noch nicht geklärt sind.) Die Muskelatrophie nach Oberschenkelimmobilisation ist folglich mit dem Maßband nicht korrekt zu beurteilen. Für wissenschaftliche Untersuchungen sind Umfangmessungen auch nach Ruhigstellung des Unterschen-

kels unbrauchbar, da ihr Informationsgehalt zu gering ist. Für die klinische Beurteilung der Muskelatrophie können sie hier jedoch verwendet werden.

Einige Autoren haben sich mit dem Problem der Volumenbestimmung aus Umfangmessungen beschäftigt (56,57) und schlagen Rechenmodelle (45, 48,55) zu seiner korrekten Lösung vor. Der Wert der Umfangmessung für die Atrophiebeurteilung wird dadurch nicht erhöht, da die Veränderungen des Subkutangewebes auch mit der Volumenberechnung nicht erfaßt werden. Mehr Information läßt sich aus Umfangmessungen nur durch Kombination mit anderen Untersuchungen, wie Hautfaltendickemessungen, gewinnen.

4.3. Hautfaltendickemessungen

Die Hautfaltendickemessungen mittels Skinfold Caliper dienen der Bestimmung der Dicke des Subkutangewebes. Die Methode ist einfach und rasch durchführbar, ihr Wert wird jedoch etwas gemindert, da sie sich nicht bei allen Patienten anwenden läßt. Hawes (34) berichtet, daß die Messungen bei dicken Menschen sehr ungenau sind. Wir selbst machten die Erfahrung, daß die Hautfaltendicke bei jungen, vorwiegend weiblichen Personen, mit straffem Unterhautfettgewebe nicht gemessen werden kann.

Der Wert der Skinfold-Caliper-Messungen zeigt sich in vergleichenden Studien mit anderen Methoden, wie der Sonographie (34), der Weichteilradiographie (21,48), der direkten Hautfaltendickemessung (45) und der planimetrischen Messung des Subkutangewebes auf CT-Bildern (46). Ingemann-Hansen (46) fand eine hohe Korrelation zwischen dem aus CT-Schnitten berechneten Unterhautfettgewebe und den Hautfaltendickemessungen. Dieses Ergebnis können wir auf Grund unserer eigenen Untersuchungen bestätigen. In Anbetracht der hohen Übereinstimmung beider Methoden bietet es sich an, den Skinfold Caliper anstelle der CT zur Be-

urteilung des Subkutangewebes einzusetzen.
Geht man davon aus, daß die Knochenfläche sich während der Immobilisation nicht wesentlich ändert, so kann man, durch gleichzeitige Messung von Hautfaltendicke und Umfang, die quantitativen Veränderungen der Muskulatur erfassen. Es finden sich auch in der Literatur Hinweise (21, 45,48), daß diese Methodenkombination geeignet ist, das Muskel- + Knochenvolumen und das Fettvolumen getrennt zu beobachten. Die gleichzeitige Bestimmung von Umfang und Hautfaltendicke kann die CT bei der Beurteilung der Immobilisationsfolgen an den Weichteilgeweben ersetzen, allerdings mit der Einschränkung, daß nur die Gesamtmuskelmasse gemessen wird, ohne zwischen einzelnen Muskelgruppen differenzieren zu können.

4.4. Plethysmographie

Die Plethysmographie ist eine anerkannte Methode zur Untersuchung des Gefäßsystems. Die von uns angewandte Dehnungsmeßstreifenplethysmographie geht auf Whitney (88) zurück, der 1949 den quecksilbergefüllten Silikonschlauch entwickelte, mit dessen Hilfe Volumenänderungen indirekt über Umfangmessungen ermittelt werden können. Im Gegensatz zu früheren Verfahren, die mit Verdrängung von Wasser und Luft arbeiteten, ist diese Methode einfach zu handhaben, und daher für den klinischen Gebrauch geeignet. Sie wurde von Gutmann (30) weiterentwickelt und in die angiologische Diagnostik eingeführt.
Seitdem kam die Plethysmographie in zahlreichen klinischen Studien zur Anwendung. Sie eignet sich zur Objektivierung von Veränderungen am arteriellen und venösen Gefäßsystem und deren Verlaufskontrolle. Die Wertigkeit der Plethysmographie erweist sich im Vergleich mit anderen Methoden, die üblicherweise zur Untersuchung der Gefäße eingesetzt werden, wie der 133-Xe-Muskelclearance (7), der Doppler-

Sonographie (51,52), der mechanischen Oszillographie (52), der intravasalen Venendruckmessung (52) sowie der Phlebo- und Arteriographie (72). Gegenüber den genannten Methoden bietet die Plethysmographie einige Vorteile. Ihre Fehlermöglichkeiten dürfen bei korrekter Anwendung und Auswertung (7,11, 16,26,36) vernachlässigt werden. Sie kann ohne Schaden für den Patienten mehrfach wiederholt werden. Obwohl es sich um ein nicht invasives Verfahren handelt, ermöglicht sie nicht nur qualitative, sondern quantitative Aussagen über die verschiedenen Durchblutungsparameter, und erlaubt so Funktionsdiagnostik am Gefäßsystem.

Dabei besitzen die einzelnen Blutflußgrößen unterschiedliche Aussagekraft. An Hand der Ruhedurchblutung und der reaktiven Hyperämie kann das arterielle Gefäßsystem beurteilt werden. Sie zeigen eine Beeinträchtigung der arteriolären Funktion und des Gefäßbettes an, und decken Gefäßverschlüsse und -stenosen auf. Die reaktive Hyperämie hat dabei größeren diagnostischen Wert als die Ruhedurchblutung. Sie ist ein empfindlicher Parameter, der Schädigungen frühzeitig erfaßt (3,4, 10,12,26,40,51,58,65,72,79). Die an der Wade gemessene reaktive Hyperämie kann als Maß für die Muskeldurchblutung gelten (19,53,61,82), da die Muskulatur in dieser Region den größten Gewebeanteil stellt, und folglich für die Durchblutung maßgeblich ist. Interessant ist im Rahmen der Gefäßdiagnostik auch der Peak Flow, der bei arteriellen Durchblutungsstörungen verzögert und vermindert ist (40,72). Die Venenkapazität und der venöse Ausstrom sind dagegen Urteilskriterien des venösen Gefäßschenkels. Sie eignen sich zur Feststellung und Differentialdiagnose von Varizzen, Thrombosen und postthrombotischem Syndrom (73).

Neben den genannten Gefäßerkrankungen gibt es zahlreiche andere Faktoren, wie Training oder Inaktivität, die die Durchblutung beeinflussen. Einige Autoren berichten von plethysmographischen Unter-

suchungen an inaktivierten Extremitäten. Rachor (66) und Mediaty (60) bestimmten die Blutflußgrößen bei gelähmten Patienten. Kellerová (49) studierte die Durchblutung an frakturierten, operativ, jedoch ohne Gipsverband, versorgten Unterschenkeln. Kroese (54) setzte die Plethysmographie bei Patienten ein, deren untere Extremität mittels Ober- bzw. Unterschenkelgips immobilisiert worden war. Seine Studie entspricht weitgehend unseren eigenen Untersuchungen. Kroese, der seine Ergebnisse leider nicht nach Oberschenkelgips und Unterschenkelgips trennt, fand bei der reaktiven Hyperämie einen signifikanten Unterschied zwischen krankem und gesundem Bein. Der maximale Blutfluß war bei der immobilisierten Extremität signifikant niedriger, als auf der kontralateralen Seite. Bei den venösen Gefäßparametern und bei der Ruhedurchblutung konnte er keine signifikanten Differenzen feststellen. Unsere eigenen Messungen, die sich nur auf Patienten mit Unterschenkelimmobilisation beziehen, ergaben im Seitenvergleich weder für das venöse, noch für das arterielle Gefäßsystem, statistisch signifikante Ergebnisse.

Wir setzten die Plethysmographie in unserer Untersuchung ein, um die Auswirkungen der Ruhigstellung, und der mit ihr einhergehenden Gewebsveränderungen, auf die Extremitätendurchblutung zu erfassen. Wenngleich wir selbst nicht auf signifikante Ergebnisse verweisen können, betrachten wir es auf Grund unseres Literaturstudiums dennoch als erwiesen, daß Immobilisation die Durchblutung beeinflußt. Es stellt sich nun die Frage, was den veränderten Blutflußgrößen zugrundeliegt.

Die möglichen Antworten lassen sich grob zwei Kategorien zuordnen. Wir unterscheiden zwischen Veränderungen, die primär an den Gefäßen ablaufen, und Einflüssen, die erst sekundär das Gefäßsystem beeinträchtigen. Die primären Gefäßveränderungen wirken sich auf die Funktion und die Morphologie des Gefäßbettes aus. In der Literatur finden

sich Hinweise, daß die Zahl der funktionellen Arteriolen (54) und Kapillaren (7) bei Inaktivität abnimmt. Ferner gibt es zahlreiche mikroskopische Untersuchungen über das zahlenmäßige Verhalten der Kapillaren bei Immobilisation (78,83) und Training (2,38,87). Die Anzahl der Kapillaren wird in histologischen Studien entweder auf den Quadratmillimeter Gewebsfläche (Kapillardichte), oder auf die Muskelfaser (Kapillarisierung) bezogen. Die Angaben der verschiedenen Autoren stimmen darin überein, daß Training zu einer Zunahme und Atrophie zu einer Abnahme der Kapillarisierung führen. Bei der Berechnung der Kapillardichte kommen die Autoren zu widersprüchlichen Ergebnissen. Für den Vergleich mit plethysmographischen Untersuchungen ist die Kapillardichte geeigneter als die Kapillarisierung, da sich die Ergebnisse der Durchblutungsmessungen stets auf ein definiertes Gewebsvolumen beziehen. Die genannten Veränderungen des Gefäßbettes beeinflussen bei der Plethysmographie vorallem die empfindliche reaktive Hyperämie.

Zu den Faktoren, die das Gefäßbett primär nicht betreffen, jedoch sekundär veränderte Durchblutungsmessungen nach sich ziehen, gehören das subkutane Ödem und der Oberschenkelumfang. Ödeme und Indurationen der Kutis behindern den arteriellen Einstrom (12), und setzen so die Ruhedurchblutung und die reaktive Hyperämie herab. Außerdem wird die Venenkapazität (73) eingeschränkt. Der Umfang des Oberschenkels (11) spielt eine Rolle, weil dort die Staumanschetten angelegt werden. Bei gleichem Staudruck wird der arterielle Blutfluß, und damit die Ruhedurchblutung und die reaktive Hyperämie, umso eher beeinträchtigt, je kleiner der Umfang ist.

Die Mehrzahl der schädigenden Faktoren greift am arteriellen Gefäßsystem an. Diese Tatsache erklärt, gemeinsam mit der Muskelatrophie, die von Kroese (54) gefundene, verminderte reaktive Hyperämie. Unsere

eigenen Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Immobilisation das Gefäßsystem unbeeinflußt läßt. Berücksichtigt man, daß eine Unterschenkelgipsbehandlung auch an Muskel-, Binde- und Fettgewebe nur zu geringfügigen Veränderungen führt, so ist diese Schlußfolgerung zweifellos möglich. In Anbetracht der vorliegenden Literatur erscheint es auch berechtigt, von gegenläufigen Entwicklungen auszugehen, die sich bei der Messung aufheben. Es wäre denkbar, daß Verletzung und Operation einen Reiz im Sinne einer Durchblutungssteigerung (6,49) darstellen. Auf Grund dieser Mehrdurchblutung und der immobilisationsbedingten Minderdurchblutung können die Werte für Ruhedurchblutung und reaktive Hyperämie im Normbereich liegen. Obwohl in diesem Fall am arteriellen Gefäßsystem des immobilisierten Beins zahlreiche Veränderungen stattfinden, deckt der Seitenvergleich der plethysmographischen Messungen keine signifikanten Unterschiede auf.

Zur wissenschaftlichen Klärung, der infolge einer Ruhigstellung auftretenden Durchblutungsveränderungen, ist die Plethysmographie nur bedingt geeignet. Da sie es jedoch ermöglicht, den Funktionszustand der Gefäße abzuschätzen, hat sie ihren berechtigten Platz in der klinischen Gefäßdiagnostik.

4.5. Hauttemperaturmessungen

Die Hauttemperatur ist ein Maßstab für die Hautdurchblutung. Im Gegensatz zur optischen und taktilen Beurteilung (37) ist die Infrarotmessung eine empfindliche Methode, die exakte Temperaturangaben eines Hautareals liefert. Zwischen Haut- und Muskeldurchblutung besteht keine strenge Korrelation (49).

Uns sind aus der Literatur keine Arbeiten bekannt, die über Hauttemperaturmessungen bei Extremitätenimmobilisation berichten. Unsere eigenen Untersuchungen deckten im Seitenvergleich des kranken und gesunden

Beins keine signifikanten Unterschiede bei der Hauttemperatur auf. Wir nehmen an, daß eine Ruhigstellung, die komplikationslos verläuft, keinen wesentlichen Einfluß auf die Hautdurchblutung hat. Aus dem Normbereich fallende Werte für die Hautdurchblutung sind nur zu erwarten, wenn die Immobilisation mit pathologischen Zuständen, wie Entzündungen, Sudeck' scher Atrophie oder thrombotischen Gefäßveränderungen (8,9,20) einhergeht. In diesen Fällen kann man mit entsprechend veränderten Ergebnissen bei den Hauttemperaturmessungen rechnen. Die Bestimmung der Hauttemperatur mit Hilfe eines Infrarotmeßfühlers ist geeignet, solche Komplikationen auszuschließen, für die Beobachtung einer unkomplizierten Extremitätenruhigstellung ist sie jedoch von untergeordneter Bedeutung.

5. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Problem der Extremitätenruhigstellung beim Menschen. Es sollte die Frage geklärt werden, wie geeignet bestimmte Methoden sind, die im Rahmen der Immobilisation an Muskel-, Binde- und Fettgewebe und am Gefäßsystem auftretenden Veränderungen, sowie deren zeitlichen Verlauf zu erfassen.

Zu diesem Zweck wurden bei 10 Personen, die zwischen 11 und 42 Tagen einen Unterschenkelgips hatten, folgende Untersuchungen durchgeführt: Computertomographie, Plethysmographie, Umfang-, Hautfaltendicke- und Hauttemperaturmessungen. Es wurden stets beide Beine untersucht, denn das gesunde diente als interne Kontrolle. Mit Ausnahme der CT, die wir während der Gipsbehandlung einsetzten, kamen die Methoden nach Gipsabnahme zur Anwendung. Die CT-Bilder wurden planimetrisch ausgewertet.

An 20 Personen, deren Gipsbehandlung länger als sechs Monate zurücklag, konnten wir zeigen, daß sich mit den nicht radiologischen Methoden noch zu diesem Zeitpunkt Befunde erheben lassen. Bei den akut betroffenen Patienten registrierten wir, neben dem nahezu unveränderten Subkutangewebe, eine signifikante Muskelatrophie am immobilisierten Bein. Die Durchblutung wurde von der Ruhigstellung nicht wesentlich beeinflußt. Das gesunde Bein zeigte keine immobilisationsbedingten Veränderungen.

Auf Grund unserer eigenen Untersuchungen und der genannten Literatur kommen wir zu folgender Wertung der Methoden:

1. Umfangmessungen können zur Beurteilung einer Muskelatrophie nur unter der Voraussetzung herangezogen werden, daß sich das Subkutangewebe während der Immobilisation nicht verändert.
2. Um von solcher Bedingtheit frei zu sein, empfiehlt es sich, gleichzeitig die Hautfaltendicke zu messen, da so auch gegenläufige Ver-

änderungen von Fett- und Muskelgewebe erfaßt werden können.

3. Die überlegene Methode zur Beurteilung einer Extremitätenruhigstellung ist die CT, da sie bereits während der Immobilisation angewandt werden kann, die Differenzierung von Muskel-, Binde- und Fettgewebe ermöglicht und die getrennte Beobachtung einzelner Muskelgruppen erlaubt. Dies ist Voraussetzung für einen therapeutischen Ansatz zur Verhinderung der Muskelatrophie.
4. Die vorrangige Bedeutung der Plethysmographie und der Hauttemperaturmessung sehen wir in der frühzeitigen Erfassung pathologischer, immobilisationsbedingter Veränderungen der Haut- und Muskeldurchblutung.

6. Anhang

Einzeldaten der Patienten bei den verschiedenen Untersuchungen

6.1. Computertomographie

Einheit der Flächen (1 - 11): cm^2

Einheit der Hautfaltendicke (12): cm

Die Zuordnung der Ziffern 1 bis 11 zu den einzelnen Flächen kann den Punkten 2.2.2. und 2.2.3. entnommen werden.

Patient 1

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	65,16	50,08	6,25	1,38	10,34	2,51	29,40	31,91	42,25	42,45	15,08	0,56
	2. Aufnahme	63,33	48,76	6,18	1,43	9,51	2,30	27,57	29,87	39,38	41,15	14,57	0,55
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mitte:	1. Aufnahme	55,26	42,96	5,00	1,44	8,35	1,97	25,04	27,01	35,36	36,52	12,30	0,50
	2. Aufnahme	52,82	40,54	4,63	1,64	7,31	1,56	22,79	24,35	31,66	34,27	12,28	0,51
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Unterrand:	1. Aufnahme	40,97	30,14	4,17	1,69	5,42	0,92	16,57	17,49	22,91	24,28	10,83	0,51
	2. Aufnahme	42,00	30,19	4,59	1,62	6,00	1,26	17,75	19,01	25,01	23,98	11,81	0,56
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	63,86	50,31	5,61	1,74	10,84	3,11	28,66	31,77	42,61	42,96	13,55	0,51
	2. Aufnahme	64,24	49,75	5,76	1,77	10,88	3,33	27,46	30,79	41,67	42,22	14,49	0,54
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mitte:	1. Aufnahme	51,86	37,92	4,38	1,53	8,39	1,74	20,81	22,55	30,94	32,01	13,94	0,59
	2. Aufnahme	53,08	39,34	4,32	1,95	9,87	1,89	22,05	23,94	33,81	33,07	13,74	0,57
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Unterrand:	1. Aufnahme	38,31	28,30	4,04	1,54	5,88	1,06	15,15	16,21	22,09	22,72	10,01	0,49
	2. Aufnahme	44,84	33,07	4,10	1,75	7,00	1,56	18,52	20,08	27,08	27,22	11,77	0,53
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 3. Tag
2. am 13. Tag

Patient 2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	72,28	53,73	5,29	1,40	11,59	2,29	31,93	34,22	45,81	47,04	18,55	0,66
	2. Aufnahme	68,45	51,28	5,37	1,30	11,98	2,24	30,73	32,97	44,95	44,61	17,17	0,63
	3. Aufnahme	66,11	50,00	4,88	1,59	10,69	1,53	30,57	32,10	42,79	43,54	16,11	0,60
Mitte:	1. Aufnahme	65,16	46,88	4,60	1,43	10,11	3,21	28,49	31,70	41,81	40,85	18,28	0,69
	2. Aufnahme	60,08	41,87	4,77	1,33	7,92	2,64	25,19	27,83	35,75	35,77	18,21	0,72
	3. Aufnahme	64,58	43,07	4,58	1,50	8,43	2,94	25,79	28,73	37,16	36,99	21,51	0,83
Unterrand:	1. Aufnahme	49,80	33,05	4,54	1,12	7,34	1,49	18,76	20,25	27,59	27,39	16,75	0,74
	2. Aufnahme	49,17	31,90	4,09	1,29	7,11	2,20	17,55	19,75	26,86	26,52	17,27	0,77
	3. Aufnahme	47,71	30,56	4,31	1,57	5,80	1,31	17,05	18,36	24,16	24,68	17,15	0,78
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	77,77	59,36	6,09	1,43	10,17	3,08	38,47	41,55	51,72	51,84	18,41	0,63
	2. Aufnahme	78,30	59,59	6,18	1,26	9,06	3,10	38,41	41,51	50,57	52,15	18,71	0,64
	3. Aufnahme	76,27	58,15	5,89	1,55	8,56	2,75	36,54	39,29	47,85	50,71	18,12	0,62
Mitte:	1. Aufnahme	64,07	46,97	4,97	1,34	9,51	2,12	27,13	29,25	38,76	40,66	17,10	0,65
	2. Aufnahme	64,41	47,51	5,10	1,56	8,28	2,69	27,06	29,75	38,03	40,85	16,90	0,64
	3. Aufnahme	66,87	49,53	5,38	1,50	9,62	2,49	29,41	31,90	41,52	42,65	17,34	0,64
Unterrand:	1. Aufnahme	47,78	33,63	4,03	1,00	6,57	1,42	17,97	19,39	25,96	28,60	14,15	0,63
	2. Aufnahme	52,42	36,06	4,87	1,39	7,02	2,15	20,29	22,44	29,46	29,80	16,36	0,70
	3. Aufnahme	50,17	35,19	4,50	1,09	6,59	1,68	19,09	20,77	27,36	29,60	14,98	0,65

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 4. Tag
2. am 12. Tag
3. am 42. Tag

Patient 3

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	80,80	60,81	5,28	1,33	7,09	3,12	40,33	43,45	50,54	54,20	19,99	0,67
	2. Aufnahme	85,55	60,89	5,42	1,77	7,69	2,57	41,75	44,32	52,01	53,70	24,66	0,82
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mitte:	1. Aufnahme	70,61	46,98	4,96	2,01	6,79	2,65	29,36	32,01	38,80	40,01	23,63	0,87
	2. Aufnahme	68,66	46,02	4,40	1,48	5,74	2,01	28,75	30,76	36,50	40,14	22,64	0,85
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Unterrand:	1. Aufnahme	53,10	33,88	4,18	1,25	5,42	1,24	18,59	19,83	25,07	28,45	19,22	0,83
	2. Aufnahme	57,63	35,04	4,56	1,67	5,36	1,58	20,28	21,86	27,22	28,81	22,59	0,94
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	86,20	64,91	4,85	1,58	9,55	3,74	45,06	48,80	58,35	58,48	21,29	0,69
	2. Aufnahme	96,84	72,16	5,32	1,66	10,41	3,70	49,34	53,04	63,45	65,18	24,69	0,76
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mitte:	1. Aufnahme	71,75	47,98	4,73	1,86	7,55	3,05	30,89	33,94	41,49	41,39	23,77	0,87
	2. Aufnahme	68,71	45,79	4,15	1,39	7,74	3,16	28,22	31,38	39,12	40,25	22,92	0,86
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Unterrand:	1. Aufnahme	55,49	35,71	3,95	1,49	7,50	1,41	20,61	22,02	29,52	30,27	19,78	0,83
	2. Aufnahme	56,43	35,99	3,85	1,61	7,48	1,61	20,82	22,43	29,91	30,53	20,44	0,85
	3. Aufnahme	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 2. Tag
2. am 34. Tag

Patient 4

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	85,18	63,33	5,86	1,70	8,91	3,97	39,98	43,95	52,86	55,77	21,85	0,72
	2. Aufnahme	84,15	62,44	6,14	1,87	9,23	4,26	38,89	43,15	52,38	54,43	21,71	0,72
	3. Aufnahme	80,34	61,22	5,29	1,78	8,67	3,66	38,66	42,32	50,99	54,15	19,12	0,64
Mitte:	1. Aufnahme	64,27	44,03	5,64	1,91	8,11	2,36	25,92	28,28	36,39	36,48	20,24	0,78
	2. Aufnahme	62,07	42,96	4,70	1,80	7,31	1,81	24,75	26,56	33,87	36,46	19,11	0,75
	3. Aufnahme	62,53	42,15	5,11	1,75	8,18	2,20	23,55	25,75	33,93	35,29	20,38	0,80
Unterrand:	1. Aufnahme	47,57	31,85	4,21	1,58	5,12	1,78	16,47	18,25	23,37	26,06	15,72	0,71
	2. Aufnahme	49,80	32,71	5,03	1,81	6,71	1,84	17,92	19,76	26,47	25,87	17,09	0,75
	3. Aufnahme	46,88	30,80	4,20	1,79	4,87	1,61	17,53	19,14	24,01	24,81	16,08	0,73
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	88,50	69,04	5,56	1,69	12,20	4,28	44,30	48,58	60,78	61,79	19,46	0,62
	2. Aufnahme	86,22	65,01	5,46	1,46	10,94	4,22	42,07	46,29	57,23	58,09	21,21	0,69
	3. Aufnahme	86,39	68,84	5,82	1,80	10,28	4,46	43,56	48,02	58,30	61,22	17,55	0,56
Mitte:	1. Aufnahme	69,84	50,27	5,24	1,47	9,64	2,49	31,46	33,95	43,59	43,56	19,57	0,71
	2. Aufnahme	64,05	46,28	5,19	1,68	9,78	2,52	27,19	29,71	39,49	39,41	17,77	0,68
	3. Aufnahme	65,87	47,23	4,97	1,70	8,64	2,43	29,06	31,49	40,13	40,56	18,64	0,70
Unterrand:	1. Aufnahme	51,09	37,32	4,56	1,50	7,72	1,88	20,18	22,06	29,78	31,26	13,77	0,59
	2. Aufnahme	52,18	35,04	4,72	1,52	7,47	1,89	18,51	20,40	27,87	28,80	17,14	0,74
	3. Aufnahme	50,92	34,91	4,73	1,70	6,85	1,88	20,07	21,95	28,80	28,48	16,01	0,69

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 1. Tag
2. am 7. Tag
3. am 24. Tag

Patient 5

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	87,87	80,22	7,74	1,42	9,90	5,62	51,16	56,78	66,68	71,06	7,65	0,24
	2. Aufnahme	89.06	81,18	8,11	1,56	10,79	5,81	52,48	58,29	69,08	71,51	7,88	0,24
	3. Aufnahme	82,70	74,74	8,26	1,66	9,44	4,88	46,90	51,78	61,22	64,82	7,96	0,25
Mitte:	1. Aufnahme	90,99	85,70	6,75	1,93	12,93	7,29	54,78	62,07	75,00	77,02	5,29	0,16
	2. Aufnahme	84,74	77,99	6,80	1,91	11,22	6,08	49,08	55,16	66,38	69,28	6,75	0,21
	3. Aufnahme	87,29	80,47	6,69	1,78	11,69	6,14	52,23	58,37	70,06	72,00	6,82	0,21
Unterrand:	1. Aufnahme	70,08	62,12	5,85	1,54	9,20	5,41	36,83	42,24	51,44	54,73	7,96	0,28
	2. Aufnahme	70,17	61,10	6,19	1,94	9,97	5,45	36,73	42,18	52,15	52,97	9,07	0,32
	3. Aufnahme	70,05	62,77	5,97	1,84	8,50	5,78	36,54	42,32	50,82	54,96	7,28	0,25
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	97,42	92,04	6,85	1,58	12,89	8,15	60,76	68,91	81,80	83,61	5,38	0,16
	2. Aufnahme	101,12	95,43	7,32	1,67	12,97	8,06	63,48	71,54	84,51	86,44	5,69	0,16
	3. Aufnahme	94,94	89,46	7,50	1,40	11,89	6,16	58,48	64,64	76,53	80,56	5,48	0,16
Mitte:	1. Aufnahme	92,88	86,81	6,25	1,79	13,71	8,27	55,33	63,60	77,31	78,77	6,07	0,18
	2. Aufnahme	92,17	85,64	6,40	1,45	12,93	8,43	54,72	63,06	75,99	77,79	6,53	0,20
	3. Aufnahme	95,73	89,32	6,54	1,61	13,54	7,99	57,85	65,84	79,38	81,17	6,41	0,19
Unterrand:	1. Aufnahme	68,92	61,84	4,77	1,67	9,64	6,25	37,03	43,28	52,92	55,40	7,08	0,25
	2. Aufnahme	73,77	66,86	5,35	1,91	10,21	6,26	40,79	47,05	57,26	59,60	6,91	0,23
	3. Aufnahme	75,43	68,84	5,69	1,52	10,63	6,71	41,86	48,57	59,20	61,63	6,59	0,22

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 2. Tag
2. am 10. Tag
3. am 21. Tag

Patient 6

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	67,96	57,80	6,06	1,53	9,21	3,17	36,51	39,68	48,89	50,21	10,16	0,36
	2. Aufnahme	63,30	52,18	4,98	1,09	8,58	2,00	32,92	34,92	43,50	46,11	11,12	0,41
	3. Aufnahme	62,26	49,55	5,92	1,21	8,09	2,21	29,56	31,77	39,86	42,42	12,71	0,48
Mitte:	1. Aufnahme	61,06	50,82	4,33	1,26	8,46	2,72	33,10	35,82	44,28	45,23	10,24	0,39
	2. Aufnahme	58,23	48,05	4,84	1,64	8,48	2,23	30,44	32,67	41,15	41,57	10,18	0,39
	3. Aufnahme	59,78	49,01	4,68	1,26	7,94	2,53	31,57	43,10	42,04	43,07	10,77	0,41
Unterrand:	1. Aufnahme	46,38	36,03	3,90	1,66	7,18	1,72	21,60	23,32	30,50	30,47	10,35	0,46
	2. Aufnahme	43,63	33,21	3,86	1,51	6,87	1,53	19,71	21,24	28,11	27,84	10,42	0,48
	3. Aufnahme	49,64	37,22	4,33	1,68	6,95	1,66	22,41	24,07	31,02	31,21	12,42	0,53
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	68,41	58,10	6,28	1,44	8,38	2,86	37,92	40,78	49,16	50,38	10,31	0,37
	2. Aufnahme	67,89	58,74	6,23	1,35	8,01	2,22	37,57	39,79	47,80	51,16	9,15	0,32
	3. Aufnahme	66,51	55,18	6,42	1,27	8,85	2,24	34,37	36,61	45,46	47,49	11,33	0,41
Mitte:	1. Aufnahme	62,10	53,11	4,54	1,18	8,50	2,44	33,99	36,43	44,93	47,39	8,99	0,33
	2. Aufnahme	63,95	54,64	4,94	1,42	9,28	2,72	34,05	36,77	46,05	48,28	0,31	0,34
	3. Aufnahme	63,50	53,05	4,94	1,55	9,08	2,16	32,95	35,11	44,19	46,56	10,45	0,39
Unterrand:	1. Aufnahme	49,29	39,11	4,48	1,80	7,21	1,93	22,71	24,64	31,85	32,83	10,18	0,43
	2. Aufnahme	49,19	38,98	4,24	1,24	7,59	1,87	22,61	24,48	32,07	33,50	10,21	0,43
	3. Aufnahme	52,48	42,09	4,91	1,62	7,55	1,97	25,39	27,36	34,91	35,56	10,39	0,43

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 4. Tag
2. am 14. Tag
3. am 41. Tag

Patient 7

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	72,20	51,05	5,31	1,34	6,58	3,67	34,51	38,18	44,76	44,40	21,15	0,76
	2. Aufnahme	67,79	47,35	4,46	1,43	7,65	2,79	30,02	32,81	40,46	41,46	20,44	0,76
	3. Aufnahme	65,98	44,58	4,27	1,31	8,66	1,77	26,99	28,76	37,42	39,00	21,40	0,82
Mitte:	1. Aufnahme	62,80	40,69	3,63	1,22	7,26	2,46	25,45	27,91	35,17	35,84	22,11	0,87
	2. Aufnahme	55,67	33,01	3,92	1,17	6,61	1,13	19,27	20,40	27,01	27,92	22,66	1,00
	3. Aufnahme	55,65	33,73	3,69	1,27	6,90	1,33	21,05	22,38	29,28	28,77	21,92	0,93
Unterrand:	1. Aufnahme	46,25	25,89	3,59	1,05	4,78	1,21	15,57	16,78	21,56	21,25	20,36	0,97
	2. Aufnahme	42,11	23,76	3,07	1,37	4,88	1,36	12,15	13,51	18,39	19,32	18,35	0,91
	3. Aufnahme	42,67	22,64	2,94	1,12	4,99	0,95	13,37	14,32	19,31	18,58	20,03	1,00
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	75,69	54,60	5,16	1,23	7,65	3,38	34,23	37,61	45,26	48,21	21,09	0,74
	2. Aufnahme	74,89	53,45	5,14	1,62	8,12	3,13	35,02	38,15	46,27	46,69	21,44	0,76
	3. Aufnahme	72,74	52,10	4,55	1,37	7,07	2,59	33,27	35,86	42,93	46,18	20,64	0,74
Mitte:	1. Aufnahme	64,76	42,30	4,17	1,47	6,36	2,51	26,95	29,46	35,82	36,66	22,46	0,87
	2. Aufnahme	59,91	37,77	3,90	1,20	4,87	1,48	22,56	24,04	28,91	32,67	22,14	0,90
	3. Aufnahme	63,97	41,05	4,24	1,45	6,83	2,26	25,54	27,80	34,63	35,36	22,92	0,90
Unterrand:	1. Aufnahme	53,13	29,11	3,45	1,02	4,97	1,14	16,24	17,38	22,35	24,64	24,02	1,07
	2. Aufnahme	46,75	25,96	4,12	1,61	3,18	1,65	13,80	15,45	18,63	20,23	20,80	1,00
	3. Aufnahme	50,17	27,71	3,63	1,34	4,61	1,42	17,72	19,14	23,75	22,74	22,46	1,03

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Eingipsung): 1. am 8. Tag
2. am 23. Tag
3. am 52. Tag

Patient 8

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
krankes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	72,56	45,46	7,73	1,74	7,77	3,18	23,44	26,62	34,39	35,99	27,20	1,00
	2. Aufnahme	66,83	41,20	8,03	1,82	6,43	2,49	19,89	22,38	28,81	31,35	25,63	0,99
	3. Aufnahme	69,64	41,78	8,43	1,78	5,91	2,97	21,31	24,48	30,19	31,57	27,86	1,06
Mitte:	1. Aufnahme	72,36	48,35	5,63	1,92	6,57	2,85	28,25	31,10	37,67	40,80	24,01	0,88
	2. Aufnahme	69,15	46,43	6,26	1,77	8,09	2,39	26,16	28,55	36,64	38,40	22,72	0,85
	3. Aufnahme	64,47	43,58	6,19	1,39	5,85	2,02	25,08	27,10	32,95	36,00	20,89	0,81
Unterrand:	1. Aufnahme	66,23	46,21	4,72	1,69	7,34	2,33	27,93	30,26	37,60	39,80	20,02	0,76
	2. Aufnahme	63,58	44,26	5,10	1,57	6,97	2,17	25,76	27,93	34,90	37,49	19,32	0,75
	3. Aufnahme	61,41	42,18	5,16	1,71	6,53	2,21	25,35	27,56	34,09	35,31	19,23	0,76
gesundes Bein													
Oberrand:	1. Aufnahme	78,78	49,93	7,04	1,52	8,42	3,66	27,42	31,08	39,50	41,37	28,85	1,02
	2. Aufnahme	75,93	49,37	8,14	1,22	8,37	3,81	27,93	31,74	40,11	40,01	26,56	0,95
	3. Aufnahme	79,21	48,52	8,44	1,67	7,47	3,09	26,17	29,26	36,73	38,41	30,69	1,09
Mitte:	1. Aufnahme	71,86	51,17	5,30	1,50	8,00	3,26	31,54	34,80	42,80	44,37	20,69	0,75
	2. Aufnahme	75,84	53,08	5,77	1,78	9,10	3,55	31,89	35,44	44,54	45,53	22,76	0,80
	3. Aufnahme	73,50	51,33	5,89	1,49	8,33	3,62	29,92	33,54	41,87	43,95	22,17	0,79
Unterrand:	1. Aufnahme	67,45	45,74	4,75	1,23	7,98	2,33	28,98	31,31	39,29	39,76	21,71	0,82
	2. Aufnahme	65,48	45,91	5,15	1,33	8,17	2,81	26,82	29,63	37,80	39,43	19,57	0,74
	3. Aufnahme	69,18	49,17	4,82	1,55	8,31	3,26	30,58	33,84	41,15	42,80	20,01	0,74

Zeitpunkt der Aufnahmen (nach Gipsbehandlung): 1. am 1. Tag
2. am 8. Tag
3. am 21. Tag

6.2. Umfangmessungen

Einheit: cm

OS 20: Oberschenkel 20
OS 10: Oberschenkel 10
US 22: Unterschenkel 22
Spg : Sprunggelenk

siehe 2.3.1.

6.3. Hautfaltendickemessungen

Einheit: mm

OS : Oberschenkel
US lat: Unterschenkel lateral
US med: Unterschenkel medial

siehe: 2.3.2.

Für 6.2. und 6.3. gilt:

Gruppe 1: unmittelbar nach Gipsabnahme

Gruppe 2: 2 bis 7 Wochen nach Gipsentfernung

Umfang

Gruppe 1

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OS 20	54,5	51,5	55,5	59,0	57,0	48,0	45,0	45,5	48,0
OS 10	48,0	42,0	48,5	50,5	47,0	42,0	38,5	39,0	40,0
US 22	30,5	34,5	35,5	38,5	36,0	37,5	28,0	30,5	29,5
Spg	----	30,5	31,0	32,5	31,0	30,0	26,0	26,0	27,0

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OS 20	56,5	53,0	55,5	60,0	59,0	50,5	46,5	45,5	49,5
OS 10	46,5	44,0	49,5	51,5	50,0	43,5	37,5	39,5	42,5
US 22	31,5	36,0	37,0	40,0	36,5	39,0	29,0	31,5	30,5
Spg	----	30,0	28,5	31,0	31,5	30,0	25,0	25,5	28,0

Gruppe 2

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS 20	57,0	57,0	59,0	57,0	49,5	46,0	48,0
OS 10	49,0	50,0	50,0	48,0	43,5	39,5	40,5
US 22	30,0	37,5	39,0	37,0	38,0	29,0	29,5
Spg	----	32,5	32,0	29,0	30,0	26,0	27,5

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS 20	55,5	58,0	61,0	57,0	51,5	46,0	49,5
OS 10	47,0	50,5	51,5	49,0	44,0	39,0	42,5
US 22	31,0	37,0	40,0	37,5	39,0	29,5	30,0
Spg	----	30,0	32,5	31,5	30,0	24,5	28,0

Hautfaltendicke

Gruppe 1

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OS	----	----	----	----	13,0	5,5	9,8	25,6	----
US lat	15,5	----	----	----	16,0	4,2	9,0	----	12,2
US med	11,6	----	----	12,4	10,5	4,1	6,4	11,8	15,6

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OS	----	----	----	----	13,0	6,2	9,4	24,4	----
US lat	10,8	----	----	----	16,0	5,6	6,2	----	13,5
US med	9,0	----	----	10,1	10,5	4,0	5,4	14,2	15,2

Gruppe 2

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS	----	----	----	----	5,8	12,2	----
US lat	12,0	----	----	----	4,8	7,6	11,2
US med	9,2	----	----	14,4	3,8	6,0	15,4

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS	---	----	----	----	5,8	11,4	----
US lat	9,8	----	----	----	6,2	6,2	11,4
US med	9,0	----	----	13,8	4,0	5,8	15,4

6.4. Plethysmographie

Gruppe 1: unmittelbar nach Gipsabnahme

Gruppe 2: 2 bis 7 Wochen nach Gipsentfernung

Rdb 1, Rdb 2, Rdb 3: Einzelwerte der Ruhedurchblutung

$\overline{Rdb}$: Mittelwert der Ruhedurchblutung

RH : reaktive Hyperämie

VK : Venenkapazität

VA : venöser Ausstrom

HWZ : Halbwertszeit des venösen Ausstroms

Einheit von Rdb, RH, VA : $\frac{\text{ml Blut}}{\text{100 ml Gewebe x min}}$

Einheit von VK : $\frac{\text{ml Blut}}{\text{100 ml Gewebe}}$

Einheit von HWZ : sec

Gruppe 1

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rdb 1	0,82	2,09	1,36	1,91	2,64	1,09	1,36	1,27	1,00
Rdb 2	0,91	2,64	1,72	1,82	2,91	1,55	1,00	1,27	0,82
Rdb 3	0,82	2,18	2,00	1,91	2,73	0,73	1,27	1,45	1,00
$\overline{\text{Rdb}}$	0,85	2,30	1,69	1,88	2,76	0,79	1,21	1,33	0,94
RH-Sofort	----	16,39	9,00	10,36	24,00	12,36	2,36	9,45	10,18
RH-15 sec	----	7,36	11,72	5,18	10,64	2,55	7,64	8,27	5,36
RH-30 sec	----	4,73	3,18	2,73	6,00	0,73	6,91	2,36	2,00
RH- 1 min	----	3,09	2,27	2,09	3,64	0,64	1,45	1,45	0,91
VK-1 min	0,52	1,35	0,76	1,15	1,85	0,45	0,76	0,83	0,73
VK-2 min	0,73	1,67	1,21	1,52	2,52	1,03	1,32	1,23	0,91
VK-3 min	0,98	2,02	1,58	1,68	2,71	1,45	1,76	1,61	1,26
VK-4 min	1,12	2,17	1,77	1,71	2,85	1,72	2,14	1,82	1,33
VA	12,91	19,27	17,82	19,27	30,18	29,09	19,10	18,55	16,72
HWZ	5,15	4,10	5,15	3,15	3,75	3,35	4,70	4,10	3,40

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rdb 1	0,73	3,45	1,36	2,64	2,27	2,09	0,82	0,91	0,64
Rdb 2	0,91	3,45	1,72	2,09	2,09	1,36	0,82	0,91	0,64
Rdb 3	0,82	3,18	1,64	2,18	1,91	1,72	1,27	0,91	0,45
$\overline{\text{Rdb}}$	0,82	3,36	1,57	2,30	2,09	1,72	0,97	0,91	0,58
RH-Sofort	----	19,09	9,27	17,82	21,91	22,09	3,45	4,91	12,00
RH-15 sec	----	10,09	15,27	10,09	9,09	7,55	7,55	6,73	4,64
RH-30 sec	----	6,91	4,72	4,45	4,73	2,64	4,00	1,09	1,45
RH- 1 min	----	5,09	3,45	2,45	2,00	1,36	1,36	0,73	0,73
VK-1 min	0,35	1,95	0,94	2,08	0,66	1,15	0,47	0,39	0,45
VK-2 min	0,67	2,52	1,64	2,55	0,82	2,18	1,03	0,76	0,70
VK-3 min	1,03	2,88	2,05	2,71	0,91	2,85	1,41	1,11	0,91
VK-4 min	1,36	3,03	2,24	2,83	1,05	3,24	1,92	1,36	1,00
VA	18,55	25,45	23,45	28,00	18,91	31,91	19,73	19,27	19,27
HWZ	3,15	4,30	5,00	5,40	2,90	4,70	3,60	3,20	2,20

Gruppe 2

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
Rdb 1	2,27	3,82	1,55	4,18	2,36	1,18	1,45
Rdb 2	3,09	3,27	1,18	4,82	1,55	1,18	1,55
Rdb 3	2,73	3,82	1,27	3,27	2,18	1,27	1,18
$\overline{\text{Rdb}}$	2,70	3,64	1,33	4,09	2,03	1,21	1,39
RH-Sofort	20,73	12,18	11,00	20,00	12,00	5,00	11,64
RH-15 sec	4,64	15,00	7,64	6,91	9,82	11,27	6,55
RH-30 sec	3,55	4,18	2,00	5,55	2,82	4,00	1,36
RH- 1 min	3,18	3,36	1,45	3,82	2,27	1,91	0,91
VK-1 min	1,65	1,39	0,97	1,91	1,30	0,91	0,73
VK-2 min	2,23	2,09	1,41	2,22	2,21	1,65	1,02
VK-3 min	2,52	2,44	1,59	2,39	2,91	2,08	1,03
VK-4 min	2,70	2,53	1,68	2,52	3,12	2,52	1,27
VA	27,64	21,45	17,82	29,45	32,09	19,27	28,18
HWZ	3,60	4,50	4,30	4,20	4,00	6,80	1,45

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
Rdb 1	1,36	3,09	2,45	4,45	2,09	1,00	1,45
Rdb 2	1,45	3,09	1,73	5,18	1,27	0,55	0,91
Rdb 3	1,18	3,36	2,00	4,36	1,00	0,82	0,55
$\overline{\text{Rdb}}$	1,33	3,18	2,06	4,66	1,45	0,79	0,97
RH-Sofort	18,73	9,82	15,27	21,82	11,82	4,27	8,18
RH-15 sec	5,00	18,36	12,18	8,72	17,00	10,18	2,09
RH-30 sec	2,73	5,82	3,27	5,27	3,27	2,00	0,91
RH- 1 min	2,00	3,00	2,27	4,01	1,82	1,09	0,36
VK-1 min	1,00	1,53	1,53	1,70	1,32	0,53	0,61
VK-2 min	1,58	2,24	2,45	2,00	2,47	1,15	1,02
VK-3 min	2,12	2,70	2,77	2,21	3,42	1,55	1,11
VK-4 min	2,48	2,80	2,92	2,36	3,80	1,97	1,21
VA	31,45	23,09	27,36	35,00	34,91	18,82	16,73
HWZ	3,00	5,10	4,20	2,05	4,35	6,10	3,45

6.5. Hauttemperaturmessungen

Einheit: °C

ZTemp: Zimmertemperatur
STemp: Stirntemperatur
OS 20: Oberschenkel 20
OS 10: Oberschenkel 10
Pat : Patella
T med: Tibia medial
T dis: Tibia distal
M lat: Malleolus lateralis
M med: Malleolus medialis
VF : Vorfuß

siehe: 2.5.

Es gilt:

Gruppe 1: unmittelbar nach Gipsabnahme

Gruppe 2: 2 bis 7 Wochen nach Gipsentfernung

Hauttemperatur

Gruppe 1

Patient:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ZTemp	22,7	22,2	21,4	22,8	23,1	21,4	19,8	22,4	22,3
STemp	35,4	35,2	32,4	34,5	36,0	33,1	33,2	35,7	33,7
krankes Bein									
OS 20	31,7	32,6	32,0	32,1	31,6	30,7	29,1	35,1	30,0
OS 10	31,4	31,9	31,2	31,4	32,0	30,0	27,7	34,7	29,4
Pat	31,1	32,4	27,4	29,4	29,9	27,2	25,3	30,1	27,4
T med	32,0	34,0	29,0	32,9	32,3	31,5	27,7	31,2	29,4
T dis	32,4	33,2	28,0	31,5	31,4	30,3	26,9	30,1	27,4
M lat	33,2	33,6	29,4	30.9	30,0	25,2	27,2	30,3	24,8
M med	33,0	33,4	28,7	31,1	31,7	26,3	26,2	31,9	24,8
VF	----	----	27,9	29,8	----	23,4	22,7	30,8	23,1
gesundes Bein									
OS 20	32,1	32,9	30,8	31,2	31,9	30,9	29,2	34,2	31,0
OS 10	31,6	32,5	29,7	30,8	32,9	30,6	27,7	33,3	30,6
Pat	30,1	32,4	27,1	29,7	30,2	27,8	25,9	29,9	28,7
T med	33,0	31,7	30,1	33,1	32,1	32,1	29,4	32,2	30,1
T dis	31,9	32,5	28,4	31,3	31,2	31,3	26,0	30,1	28,3
M lat	32,5	32,2	26,4	30,7	30,3	28,5	24,7	29,1	24,9
M med	33,0	33,4	27,4	32,6	30,8	29,7	26,1	31,3	25,6
VF	----	----	25,8	31,5	----	28,1	23,8	30,3	24,1

Hauttemperatur

Gruppe 2

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
ZTemp	21,0	21,6	20,2	21,8	20,4	21,9	20,4
STemp	33,2	34,2	32,0	36,5	33,1	35,5	32,5
krankes Bein							
OS 20	29,9	31,2	29,2	30,8	30,5	30,9	29,7
OS 10	30,1	30,2	28,9	31,2	30,1	30,2	29,4
Pat	31,3	28,2	28,0	28,8	27,7	28,0	27,2
T med	31,3	30,2	31,6	31,6	32,1	32,8	29,3
T dis	30,3	28,3	30,2	30,7	30,6	30,9	27,6
M lat	31,6	26,6	30,0	32,7	27,4	27,8	25,8
M med	31,9	27,7	28,8	33,9	28,9	28,6	26,9
VF	----	25,3	28,7	33,9	25,6	26,4	24,7
gesundes Bein							
OS 20	29,1	30,3	28,7	31,2	30,6	31,0	31,0
OS 10	28,9	29,9	28,6	32,2	30,5	30,0	29,0
Pat	28,5	28,0	27,8	29,1	27,4	28,2	27,4
T med	31,0	31,2	31,3	32,5	31,9	33,2	29,2
T dis	30,0	28,3	30,7	30,9	30,7	31,6	27,7
M lat	30,0	25,9	29,6	32,4	27,4	27,1	25,9
M med	30,6	27,5	28,6	33,9	28,6	29,3	27,7
VF	----	24,1	27,7	34,0	27,0	26,4	24,9

6.6. Nachuntersuchung

Oberschenkel : Z.n. Oberschenkelgipsbehandlung

Unterschenkel : Z.n. Unterschenkelgipsbehandlung

6.6.1. Plethysmographie

siehe 6.4.

6.6.2. Hauttemperaturmessungen

siehe 6.5.

6.6.3. Umfangmessungen

siehe 6.2.

Kng: Kniegelenk

6.6.4. Hautfaltendickemessungen

siehe 6.3.

Oberschenkel

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
Rdb 1	1,64	0,73	2,55	1,36	1,18	1,18	1,64
Rdb 2	1,73	0,73	2,45	1,09	1,27	1,64	1,82
Rdb 3	2,09	0,73	3,00	1,09	1,45	1,64	1,91
$\overline{\text{Rdb}}$	1,82	0,73	2,67	1,18	1,30	1,49	1,79
RH-Sofort	17,09	4,36	17,82	15,64	12,73	15,73	20,36
RH-15 sec	9,09	3,45	8,73	4,73	8,64	6,18	12,36
RH-30 sec	3,64	0,91	5,09	2,09	2,45	2,18	8,18
RH- 1 min	2,36	0,73	2,91	1,45	1,09	1,82	4,18
VK-1 min	1,21	0,47	2,09	0,70	1,11	0,79	1,39
VK-2 min	1,91	0,85	2,82	1,62	1,85	1,00	1,88
VK-3 min	2,05	1,06	3,03	2,21	2,30	1,42	2,12
VK-4 min	2,06	1,14	3,21	2,41	2,64	1,35	2,21
VA	28,72	15,00	36,36	33,09	28,91	18,36	21,36
HWZ	2,40	2,80	3,20	2,65	3,15	2,30	3,60

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
Rdb 1	1,45	1,27	2,36	1,82	2,18	1,55	2,00
Rdb 2	1,64	1,27	2,27	1,64	2,09	2,18	1,73
Rdb 3	2,00	1,18	2,73	1,91	2,09	2,09	1,82
$\overline{\text{Rdb}}$	1,70	1,24	2,45	1,79	2,12	1,94	1,85
RH-Sofort	20,18	6,18	20,36	17,45	12,55	18,27	21,82
RH-15 sec	7,82	7,09	10,27	10,45	17,45	9,91	12,00
RH-30 sec	3,27	1,91	4,36	5,64	6,45	3,09	7,55
RH- 1 min	1,82	1,09	2,36	3,09	2,73	2,36	3,55
VK-1 min	1,00	0,79	1,73	0,98	1,79	1,11	1,21
VK-2 min	1,80	1,24	2,27	1,80	2,58	1,70	1,79
VK-3 min	2,21	1,64	2,64	2,61	3,06	2,21	2,18
VK-4 min	2,29	1,79	2,76	3,18	3,48	2,55	2,35
VA	29,64	18,73	28,55	29,45	37,45	22,18	21,64
HWZ	2,55	3,90	3,70	4,20	3,50	4,75	3,60

Oberschenkel

krankes Bein

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
Rdb 1	3,55	8,36	2,55	3,00	2,55	1,18	3,00
Rdb 2	3,09	8,73	2,45	3,55	3,27	1,64	2,91
Rdb 3	4,36	9,55	2,73	4,09	3,27	1,27	2,73
$\overline{\text{Rdb}}$	3,67	8,88	2,58	3,55	3,03	1,36	2,88
RH-Sofort	38,73	23,09	16,18	19,18	7,00	22,00	19,18
RH-15 sec	28,55	26,73	14,18	8,09	16,18	4,00	11,09
RH-30 sec	12,82	22,45	4,82	5,27	4,55	4,09	5,45
RH- 1 min	7,18	10,91	2,82	3,55	4,18	1,64	3,36
VK-1 min	2,50	4,14	1,73	1,79	2,45	0,79	1,62
VK-2 min	3,36	4,74	2,95	2,58	3,77	1,41	2,06
VK-3 min	4,15	4,85	3,95	2,82	4,52	1,55	2,23
VK-4 min	4,24	4,88	4,56	2,97	4,92	1,62	2,35
VA	59,64	42,18	60,73	40,36	49,82	25,18	25,09
HWZ	2,90	4,50	2,90	2,50	3,70	2,10	3,00

gesundes Bein

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
Rdb 1	3,00	3,09	3,91	1,55	2,09	1,73	2,73
Rdb 2	2,73	3,27	3,82	1,64	2,18	1,64	3,00
Rdb 3	3,64	3,91	4,00	2,00	2,45	1,82	2,82
$\overline{\text{Rdb}}$	3,12	3,42	3,91	1,73	2,24	1,73	2,85
RH-Sofort	30,00	23,64	12,55	26,55	8,00	29,45	19,64
RH-15 sec	19,09	26,09	20,36	7,18	16,82	8,18	16,18
RH-30 sec	9,64	12,73	7,64	2,82	4,18	4,91	6,91
RH- 1 min	4,36	6,27	4,45	1,82	3,64	2,09	3,91
VK-1 min	2,09	2,26	1,76	1,48	1,95	1,03	1,70
VK-2 min	2,86	3,58	2,95	2,70	3,15	2,18	2,73
VK-3 min	3,67	4,64	4,03	3,58	3,95	2,45	3,15
VK-4 min	3,98	5,27	4,80	3,85	4,24	2,50	3,33
VA	47,64	50,18	60,00	44,73	38,18	36,00	28,36
HWZ	2,90	4,60	3,10	2,80	4,05	2,30	4,75

Unterschenkel

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6
Rdb 1	2,73	0,91	3,64	3,27	1,73	2,45
Rdb 2	3,00	1,09	3,91	3,27	1,91	1,64
Rdb 3	2,73	1,00	4,00	3,82	2,36	1,91
Rdb	2,82	1,00	3,85	3,45	2,00	2,00
RH-Sofort	24,00	12,18	16,18	8,45	23,27	8,18
RH-15 sec	9,73	14,91	19,00	18,73	15,45	12,00
RH-30 sec	5,82	2,55	7,45	4,55	3,64	2,45
RH- 1 min	3,27	1,27	3,45	3,09	2,64	1,27
VK-1 min	1,09	0,73	2,48	2,30	1,41	1,11
VK-2 min	1,88	1,64	3,68	3,24	2,39	1,86
VK-3 min	2,56	2,55	4,29	3,74	2,98	2,00
VK-4 min	2,97	3,27	4,83	3,91	3,33	2,15
VA	39,64	43,82	48,36	34,00	38,55	23,64
HWZ	2,70	3,05	3,75	4,55	2,90	3,40

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6
Rdb 1	3,36	0,91	3,18	3,55	1,09	1,64
Rdb 2	3,45	1,09	3,91	4,18	1,27	1,36
Rdb 3	2,91	1,00	3,73	4,64	1,64	1,45
Rdb	3,24	1,00	3,61	4,12	1,33	1,48
RH-Sofort	26,91	9,09	20,55	10,73	22,55	7,18
RH-15 sec	16,27	18,00	17,45	21,45	11,64	7,45
RH-30 sec	8,18	4,55	7,09	6,36	2,64	1,91
RH- 1 min	4,36	2,45	3,45	3,45	1,82	0,82
VK-1 min	1,48	0,85	2,55	2,70	1,15	0,71
VK-2 min	2,55	1,66	3,85	3,79	2,05	1,05
VK-3 min	3,39	2,39	4,24	4,24	2,71	1,06
VK-4 min	4,11	2,89	4,47	4,41	3,11	1,17
VA	48,00	26,45	48,73	40,73	33,82	13,27
HWZ	3,60	4,20	3,15	3,55	3,10	3,10

Oberschenkel

Hauttemperatur

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
ZTemp	21,7	22,9	23,8	21,5	23,4	22,5	22,2
STemp	31,7	33,7	32,8	33,7	33,6	32,6	32,5
krankes Bein							
OS 20	30,7	30,1	30,2	30,7	29,7	30,1	29,5
OS 10	29,6	29,4	29,5	30,1	29,3	30,4	29,0
Pat	28,7	28,4	31,5	28,3	27,6	29,2	29,8
T med	29,9	31,6	31,1	31,2	29,5	31,1	30,4
T dis	29,5	30,4	31,6	30,3	27,4	30,5	30,0
VF	27,4	27,7	31,7	28,7	25,7	29,5	27,4
gesundes Bein							
OS 20	31,2	30,9	29,9	30,3	29,9	29,8	30,2
OS 10	32,0	30,4	30,0	30,2	29,2	30,2	29,4
Pat	29,5	28,4	32,0	27,8	27,3	29,4	27,9
T med	31,2	32,0	31,4	31,5	30,0	30,4	30,7
T dis	30,3	30,6	31,4	30,6	27,6	30,9	29,9
VF	28,1	29,4	32,5	28,7	25,4	30,3	28,3

Oberschenkel

Hauttemperatur

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
ZTemp	23,3	23,3	23,8	23,5	23,7	22,7	22,0
STemp	32,8	32,2	33,0	32,7	33,7	33,1	32,7
krankes Bein							
OS 20	30,9	30,4	31,3	31,2	30,9	28,8	30,3
OS 10	30,4	29,2	30,8	30,2	30,4	28,8	30,9
Pat	29,2	28,3	28,8	28,7	28,4	28,0	31,5
T med	31,9	30,6	32,0	31,1	32,5	31,7	31,8
T dis	31,2	30,0	30,6	30,9	31,3	30,0	30,0
VF	29,0	28,4	28,5	28,8	28,7	29,2	30,0
gesundes Bein							
OS 20	31,3	30,8	31,4	31,2	31,2	29,1	31,0
OS 10	31,6	30,3	31,1	30,4	30,3	29,3	31,3
Pat	29,3	27,6	28,1	28,8	28,7	28,3	28,6
T med	32,0	30,6	32,2	31,6	32,3	30,6	31,7
T dis	31,7	29,6	30,8	30,8	31,1	30,1	30,2
VF	29,0	27,7	28,7	29,6	28,7	28,1	29,0

Unterschenkel

Hauttemperatur

Patient:	1	2	3	4	5	6
ZTemp	----	20,1	23,1	22,2	23,4	23,0
STemp	----	32,5	33,7	32,8	33,6	33,7
krankes Bein						
OS 20	----	30,3	31,9	31,9	29,8	30,0
OS 10	----	29,3	31,2	30,0	29,3	29,5
Pat	----	28,1	28,3	27,8	28,0	28,6
T med	----	31,0	32,2	31,7	30,6	31,3
T dis	----	30,0	31,4	30,5	28,5	29,2
M lat	----	29,4	28,2	28,1	27,7	27,9
M med	----	29,7	29,1	30,0	28,1	29,8
VF	----	27,4	27,2	28,9	25,6	26,4
gesundes Bein						
OS 20	----	29,7	31,5	30,0	30,0	29,6
OS 10	----	29,7	30,9	30,0	29,2	29,8
Pat	----	27,8	27,9	28,3	28,0	28,1
T med	----	30,6	32,4	31,6	31,0	31,1
T dis	----	30,2	31,3	31,1	28,4	28,4
M lat	----	29,0	28,6	28,8	27,4	27,4
M med	----	29,9	29,6	30,3	28,7	29,2
VF	----	27,9	27,4	28,2	25,2	25,5

Oberschenkel

Umfang

krankes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS 20	61,0	49,0	55,0	39,0	49,0	56,5	60,0
OS 10	53,0	41,0	45,5	38,5	42,0	47,0	50,0
US 22	36,5	33,0	27,0	28,5	33,5	36,5	39,5
Kng	45,0	38,0	34,5	36,5	38,0	39,0	43,0

gesundes Bein

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
OS 20	61,0	52,0	56,0	48,0	51,0	57,0	61,0
OS 10	52,0	43,5	47,0	47,0	42,5	47,0	51,5
US 22	36,5	33,5	28,0	28,0	32,0	36,5	39,5
Kng	41,5	37,0	35,0	35,0	37,0	39,5	42,0

krankes Bein

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
OS 20	54,5	50,5	54,5	54,0	50,0	59,5	56,5
OS 10	44,0	45,0	45,0	46,5	42,5	47,0	48,0
US 22	38,0	35,0	37,0	33,5	36,0	34,5	39,5
Kng	39,5	----	37,5	----	37,5	----	44,0

gesundes Bein

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
OS 20	56,0	52,0	54,5	56,0	52,0	60,5	60,0
OS 10	48,0	46,0	44,5	48,5	43,0	49,0	52,0
US 22	38,0	35,5	37,5	36,5	36,0	34,5	41,0
Kng	39,0	----	36,5	----	37,5	----	41,0

Unterschenkel

Umfang

Patient:	1	2	3	4	5	6
krankes Bein						
OS 20	57,0	49,5	53,0	54,0	55,5	51,5
OS 10	47,5	41,0	43,5	47,5	47,5	43,5
US 22	34,0	32,0	36,5	39,0	34,0	35,0
Spg	----	28,5	32,0	32,0	31,0	30,0
gesundes Bein						
OS 20	57,0	49,5	50,5	54,5	57,0	51,5
OS 10	47,0	41,0	42,0	47,0	48,5	44,5
US 22	35,5	31,5	37,0	38,5	34,0	34,0
Spg	----	28,0	30,0	32,0	28,0	29,0

Hautfaltendicke

Patient:	1	2	3	4	5	6
krankes Bein						
OS	14,5	23,2	5,4	----	----	----
US lat	6,2	9,4	5,9	----	----	13,6
US med	6,4	12,5	4,8	----	----	9,3
gesundes Bein						
OS	14,6	21,9	6,4	----	----	----
US lat	6,8	9,8	4,6	----	----	12,4
US med	7,9	12,5	4,0	----	----	10,8

Oberschenkel

Hautfaltendicke

Patient:	1	2	3	4	5	6	7
krankes Bein							
OS	----	19,0	----	----	16,8	----	----
US lat	----	19,4	----	----	8,7	----	----
US med	----	14,9	----	15,2	8,4	14,2	----
gesundes Bein							
OS	----	15,1	----	----	17,2	----	----
US lat	----	18,2	----	----	7,2	----	----
US med	----	10,8	----	10,8	7,4	14,0	----

Patient:	8	9	10	11	12	13	14
krankes Bein							
OS	18,6	9,0	8,7	10,6	8,4	----	11,4
US lat	10,4	8,5	6,0	9,3	7,0	----	8,4
US med	11,8	8,4	6,0	10,8	6,8	----	10,6
gesundes Bein							
OS	13,5	8,0	7,7	10,9	8,8	----	6,9
US lat	9,6	7,0	6,7	9,8	7,5	----	8,4
US med	8,5	6,4	5,6	11,2	5,4	----	7,6

7. Literaturübersicht

1. Alfidi R.J. MacIntyre W.J. et al. — Experimental studies to determine application of cat scanning to the human body AM J ROENTGENOL 124, 199, 1975

2. Andersen P. — Capillary density in skeletal muscle of man ACTA PHYSIOL SCAND 95, 203-5, 1975

3. Barbey K. Barbey P. et al. — Plethysmographische Untersuchungen bei arteriellen Durchblutungsstörungen der Extremitäten DTSCH MED WOCHENSCHR 88, 1556, 1963

4. Barcroft H. — The mechanism of vasodilatation in the limbs during and after arrest of the circulation ANGIOLOGY 23, 595, 1972

5. Bartusch M. Preuss E.-G. Seige K. — Beitrag zur Standardisierung der Venenverschluß-plethysmographie Z KARDIOL Band 63, Heft 4, 350-7, 1973

6. Baumgartl F. Gremmel H. Willmann K.H. — Die Durchblutung von frakturierten Unterschenkeln während der Heilung, an Hand von arteriographischen Untersuchungen ZENTRALBL CHIR 28, 1386, 1958

7. Becker H.M. Klemm J. — Zur Wertigkeit der Dehnungsmeßstreifenstauplethysmographie HERZ KREISL 4, 254, 1972

8. Bergqvist D. et al. — Thermographic diagnosis of deep vein thrombosis BR MED J IV, 684, 1975

9. Bergqvist D. Efsing H.O. Hallböök T. et al. — Infrarot-Thermographie bei tiefer Beinvenenthrombose - eine neue nicht-invasive diagnostische Methode VASA 6, 244, 1977

10. Berne R.M. Levy M.N. — Cardiovascular Physiology St. Louis, C.V. Mosby, 1972

11. Bethge K.-P. de Calaya D. Barbey K. — Methodologische Aspekte zur pneumatischen Segmentplethysmographie I. Das Problem der Staumanschettenbreite und des Staumanschettendrucks Z KARDIOL 64, 636-46, 1975

12. Bollinger A. — Bedeutung der Venenverschlußplethysmographie in der angiologischen Diagnostik SCHWEIZ MED WOCHENSCHR Band 95, Nr. 41, 1357-65, 1965

13. Brooks R.A. di Chiro G. — Principles of computer assisted tomography (Cat) in radiographic and radioisotopic imaging PHYS MED BIOL 21, 689, 1976

14. Bulcke J.A. et al.
Computed tomography of muscle
MUSCLE NERV 4, 67-72, 1981

15. Bulcke J.A. Termote J.-L. et al.
Computed tomography of the human skeletal muscular system
NEURORADIOLOGY 17, 127-36, 1979

16. de Calaya D. Bethge K.-P. Barbey K.
Methodologische Aspekte zur pneumatischen Segment-plethysmographie. I. Das Problem der Lagerung und der distalen venösen Okklusion
Z KARDIOL 64, 625-35, 1975

17. Cardenas D.D. et al.
Muscle fiber number in immobilization atrophy
ARCH PHYS MED REHABIL vol 58, 1977

18. Cavalli-Sforza L.
Biometrie - Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik
Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart, 1972

19. Clarke R.S.J. Hellon R.F.
Venous collection in forearm and hand measured by the straingauge and volume plethysmograph
CLIN SCI 16, 103, 1957

20. Cooke E.D. Pilcher M.F.
Deep vein thrombosis: preclinical diagnosis by thermography
BR J SURG 61, 971, 1974

21. Davies C.T.M. Sargeant A.J.
Effects of exercise therapy on total and component tissue leg volume of patients undergoing rehabilitation from lower leg injury
ANN HUM BIOL Vol. 2, No. 4, 327-37, 1975

22. Edel H.
Fibel der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie
Verlag Theodor Steinkopf, Dresden, 1977

23. Edgerton V.R. et al.
Muscle fiber type populations of human leg muscles
HISTOCHEM J 7, 259-66, 1975

24. Edström L.
Selective atrophy of red muscle fibers in the quadriceps in long-standing knee-joint dysfunction following injuries to the anterior cruciate ligament
J NEUROL SCI 114, 551-9, 1970

25. Edström L. Nyström B.
Histochemical types and sizes of fibersin normal human muscles
ACTA NEUROL SCAND 45, 257-69, 1969

26. Forconi S. et al.
Straingauge plethysmography in the study of circulation of the limbs
ANGIOLOGY 30 (7), 487-97, 1979

27. Gambarelli J. et al.
Computed Axial Tomography
Springer Verlag, 1977

28. Geigy
Wissenschaftliche Tabellen
Teilband Statistik, 8. Auflage, Basel, 1980

29. Gildemeister M. Untersuchungen über die Wirkung der Mittelfrequenzströme auf den Menschen
PFLÜG ARCH 247,366, 1944

30. Gutmann J.
Kachel V.
Bründl G. Vergleichende Messungen mit rheographischen und plethysmographischen Durchblutungsmeßgeräten
Elektromed. Sonderheft 87, 1969

31. Häggmark T.
et al. Hypotrophy of the soleus muscle in man after achilles tendon rupture. Discussion of findings obtained by computed tomography and morphologic studies
AM J SPORTS MED 7 (2), 121-6, 1979

32. Häggmark T.
Jansson E.
Eriksson E. Fiber type area and metabolic potential of the thigh muscle in man after knee surgery and immobilization
INT J SPORTS MED 2, 12-17, 1981

33. Häggmark T.
Jansson E.
Svane B. Cross-sectional area of thigh muscle in man measured by computed tomography
SCAND J CLIN LAB INVEST 38, 355-60, 1978

34. Hawes S.B.
Albert A.
Healy M.J.R.
Garrow J.S. A comparison of soft tissue radiography, reflected ultrasound, skinfold calipers and thigh circumference for estimating the thickness of fat overlying the iliac crest and greater trochanter
PROC NUTR SOC 31, 91 A, 1972

35. Heinz M. Computertomographische, plethysmographische und anthropometrische Messungen bei Gipsimmobilisation - Untersuchungen am Oberschenkel des Menschen -
Med. Dissertation, LMU München, 1983

36. Hellige G.
et al. Measurement of arterial and venous reactivity by advanced straingauge plethysmography
ANGIOLOGY 30 (8), 539-48, 1979

37. Hensel H. Die Messung der Muskeldurchblutung am Menschen
KLIN WOCHENSCHR Jg. 34, Heft 45/46, 1223-7, 1956

38. Hermansen L.
Wachlova M. Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men
J APPL PHYSIOL 30, 860-3, 1971

39. Hettinger T. Physiology of Strength
Springfield (III.), Thomas, 1961

40. Hillestad L.K. The peripheral blood flow in intermittent claudication
ACTA MED SCAND 174, 23, 1963

41. Hounsfield G.N. Computerized transverse axial scanning (tomography), Part I. Description of system
BR J RADIOL 46, 1016, 1973

42. Ikai M.
Fukunaga T.
Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement
INT Z ANGEW PHYSIOL 26, 26- 32, 1968

43. Ikai M.
Fukunaga T.
A study on training effect on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement
INT Z ANGEW PHYSIOL 28. 173-80, 1970

44. Immich H.
Medizinische Statistik
F.K. Schattauer-Verlag, Stuttgart, 1974

45. Ingemann-Hansen T. et al.
Lean and fat component of the human thigh. The effects of immobilization in plaster and subsequent physical training
SCAND J REHABIL MED 9 (2), 67-72, 1977

46. Ingemann-Hansen T. et al.
Computerized tomographic determination of human thigh components. The effects of immobilization in plaster and subsequent physical training
SCAND J REHABIL MED 12 (1), 27-31, 1980

47. Jaffe D.M. et al.
Disuse atrophy of skeletal muscle. A morphometric study using image analysis
J NEUROL SCI 35 (2-3), 189-200, 1978

48. Jones P.R.M.
Pearson J.
Anthropometric determination of leg fat and muscle plus bone in young male and female adults
J PHYSIOL 204, 63, 1969

49. Kellerová E.
Delius W. et al.
Changes in the muscle and skin blood flow following lower leg fracture in man
ACTA ORTHOP SCAND 41, 249, 1970

50. Kleditzsch J.
Lange A.
Die Muskelstimulierende Wirkung von Nieder- und Mittelfrequenzströmen, isometrischen Spannungs- und aktiven Bewegungsübungen nach Meniskotomie
BEITR ORTHOP TRAUMATOL 26, 380-5, 1979

51. Köhler M.
Hinger H.U.
Zahnov W.
Die Beurteilung der Kompensation bei chronischen Arterienverschlüssen mit Hilfe der Ultraschall-Doppler-Methode und der Venenverschlußplethysmographie
Z. f. Kreislaufforschung 61 (5), 401-12, 1971

52. Kriessmann A.
Schmück L.
Hildebrand B.
Rädler M.
Vergleich apparativer Meßmethoden zur Diagnostik der arteriellen Verschlußkrankheit der unteren Extremität
MÜNCH MED WOCHENSCHR 117 (23), 991-4, 1975

53. Kroese A.J.
The contribution of muscle and skin circulation to reactive hyperaemia in the human lower limb
VASA 6 (1), 9-14, 1977

54. Kroese A.J. — The effect of inactivity on reactive hyperaemia in the human calf: a study with strain gauge plethysmography
SCAND J CLIN LAB INVEST 37(1), 53-8, 1977

55. Kuhnke E. — Volumenbestimmung aus Umfangmessungen
FOLIA ANGIOL 26, 228, 1976

56. Kuhnke E. — Die Volumenbestimmung entrundeter Extremitäten aus Umfangmessungen. Eine Analyse der Fehler und die Möglichkeiten zu ihrer Beseitigung
Z LYMPHOL 2, 35, 1978

57. Kuhnke E. — Methodik der Volumenbestimmung menschlicher Extremitäten aus Umfangmessungen
PHYSIOTHERAPIE 5, 336-9, 1979

58. Lassen N.A. — Muscle blood flow in normal man and in patients with intermittent claudication. Evaluated by simultaneous Xe 133 and Na 24 clearances
J CLIN INVEST 43, 1805, 1965

59. Mayer R.F. et al. — Immobilization and muscle atrophy
TRANS AM NEUROL ASSOC 101, 145-50, 1976

60. Mediaty G. Arnold C.-R. — Untersuchungen zur Durchblutung spastisch und schlaff gelähmter Extremitäten mit verschiedenen Methoden
Z PHYS MED 11, 48, 1982

61. Meyers K. — The investigation of peripheral arterial disease by strain gauge plethysmography
ANGIOLOGY 15, 293, 1964

62. Müller E.A. — Influence of training and inactivity on muscle strength
ARCH PHYS MED REHABIL 8, 449-62, 1970

63. O'Dohorty D.S. Schellinger D. Raptopoulos V. — Computed tomographic patterns of pseudohypertrophic muscular dystrophy: preliminary results
J COMPUT ASSIST TOMOGR I. 482-4, 1977

64. Patel A.N. et al. — Disuse atrophy of human skeletal muscles
ARCH NEUROL 20, 413-21, 1969

65. Patterson G.C. Whelan R.F. — Reactive hyperaemia in human forearm
CLIN SCI 14, 197, 1955

66. Rachor B.M. Gall H. Schnizer W. — Venenverschlußplethysmographische Messungen an den unteren Extremitäten bei Hemiplegikern mit schlaffer Lähmung
Z PHYS MED BALN MED KLIM 11, 463-66, 1982

67. Ralston H.J. Feinstein B. Inman V. — Rate of atrophy in muscles immobilized at different lengths
FED PROC 11, 127, 1952

68. Rasch P.J.
Morehouse L.E.
Effect of static and dynamic exercise on muscular strength and hypertrophy
J APPL PHYSIOL 11, 29-34, 1957

69. Rose D.L.
Radzyminsi S.F.
Beatty R.R.
Effect of brief maximal exercise on the strength of the quadriceps femoris
ARCH PHYS MED 38, 157-64, 1957

70. Rosemeyer B.
Stürz H.
Musculus quadriceps femoris bei Immobilisation und Remobilisation
Z ORTHOP GRENZGEB 115 (2), 182-88, 1977

71. Rosemeyer B.
Stürz H.
Einfluß der Gipsimmobilisation auf die Kniestreckmuskulatur
Z KRANKENGYMNASTIK 30 (5), 196-200, 1978

72. Rudofsky G.
Gutmann J.
Venenverschluß-Plethysmographie
Eurasburger Berichte zu Themen der Angiologie und Kardiologie, 1979

73. Rudofsky G.
et al.
Venenverschluß-Plethysmographie
DIAGNOSTIK 10, 24, 1977

74. Sergeant A.J.
et al.
Functional and structural changes after disuse of human muscle
CLIN SCI MOL MED 52 (4), 337-42, 1977

75. Sobotta/Becher
Atlas der Anatomie des Menschen (Bd. 3)
Verlag Urban&Schwarzenberg, München-Berlin-Wien, 1973

76. Solandt D.Y.
et al.
Effect of skeletal fixation on skeletal muscle
J NEUROPHYSIOL 6, 17-22, 1943

77. Staudte H.W.
Brussatis F.
Selective changes in size and distribution of fiber types in vastus muscle from cases of different knee joint affections
Z RHEUMATOL 36 (5/6), 143-60, 1977

78. Stechele F.
Die Auswirkung einer dreiwöchigen Extremitätenimmobilisation auf die Muskulatur und deren Gefäßversorgung und die Möglichkeit einer Prevention der Schädigung durch eine gleichzeitig erfolgende Elektrotherapie. Untersuchungen am "roten" M. soleus der Ratte
Med. Dissertation, LMU München, 1982

79. Stein I.D.
A medical appraisal of therapy for occlusive arterial disease
ANGIOLOGY 15, 188, 1964

80. Stephens D.H.
Sheedy P.F.
et al.
Initial clinical experience with computerized tomography of the body
RADIOL CLIN NORTH AM XIV, 149, 1976

81. Stoboy H.
Friedebold F.
Strand F.L.
Evaluation of the effect of isometric training in functional and organic muscle atrophy
ARCH PHYS MED 49, 508-14, 1968

82. Stören G.
Calf volume changes during postischemic hyperemia in normal and arteriosclerotic legs
SCAND J CLIN LAB INVEST 20, 147, 1967

83. Stulcova B.
Hudlicka O.
Changes in total vascular volume and capillary bed in rat skeletal muscle undergoing atrophy
Physiologia bohemoslov. 16, 456, 1967

84. Summers T.B.
Hines H.M.
Effect of immobilization in various positions upon the weight and strength of skeletal muscle
ARCH PHYS MED 32, 142, 1951

85. Tomanek R.
Lund D.D.
Degeneration of different types of skeletal muscle fibers. II. Immobilization
J ANAT 118(3), 531-41, 1974

86. Überla K.
Biomathematik
ISB, München, 1976

87. Vannotti A.
Magiday M.
Untersuchungen zum Studium des Trainiertseins. Über die Kapillarisierung der trainierten Muskulatur
Z ARBEITSPHYSIOL 7, 615, 1934

88. Whitney R.J.
The measurement of volume changes in human limbs
I PHYSIOL 121, 1, 1953

89. Zohn D.A.
Leach R.E.
Stryker W.S.
A comparison of isometric and isotonic exercises of the quadriceps after injuries of the knee
ARCH PHYS MED 45, 571-4, 1964

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Dr. med. I. Magyarosy (Klinik für Physikalische Medizin der Universität München), der diese Arbeit angeregt und mit seinen Ideen und Hinweisen bereichert hat.

Für die freundliche Unterstützung danke ich Herrn Prof. Dr. med. H. Drexel (Klinik für Physikalische Medizin der Universität München), Herrn Prof. Dr. med. W. Schnizer (Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Universität München) sowie Frau Dr. med. E. Huber, Herrn Dr. med. B.M. Rachor und Herrn Dipl.-Phys. H. Gall von der Klinik für Physikalische Medizin der Universität München.

Herrn Prof. Dr. med. J. Lissner und Herrn Dr. med. W. Bauer danke ich für die Kooperation der Radiologischen Klinik und Poliklinik am Klinikum Großhadern.

Bei Herrn Prof. Dr. med. M. Jäger und Herrn Prof. Dr. med. K. Matzen möchte ich mich für die Mitwirkung der Orthopädischen Klinik am Klinikum Großhadern bedanken.

Lebenslauf

29. Juni 1958	Geburt in München als erstes Kind des Ingenieurs Erik Hoffmann und seiner Frau Roswitha, geb. Bodenmüller
1964 - 68	Volksschule in München
1968 - 77	Elsa-Brändström-Gymnasium in München-Pasing
1977 - 84	Medizinstudium an der Ludwig-Maximilians-Universität in München
August 1979	Ärztliche Vorprüfung
August 1980	1. Teil des Staatsexamens
März 1983	2. Teil des Staatsexamens
April/Mai 1984	3. Teil des Staatsexamens
25. Mai 1984	Erteilung der Approbation als Arzt